Verletzungen peripherer Nerven der oberen Extremitäten

---

von

Manfred Lang

aus München

1966

1966 № 113

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535718_0082

Aus der Chirurgischen Universitätsklinik Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. med. G. H e g e m a n n

Verletzungen peripherer Nerven der oberen Extremitäten

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen - Nürnberg

Vorgelegt von
Manfred L a n g
aus München

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN

Dekan: Professor Dr. Dr. G.Steinhardt
Referent: Professor Dr. G. Hegemann
Tag der mündlichen Prüfung: 27. Mai 1966

Herrn Professor Dr. med. G. Hegemann danke ich für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referates.

Herrn Dr. med. J. Geldmacher danke ich für die freundliche Unterstützung.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	EINLEITUNG	
	1.) Problemstellung	4
	2.) Geschichtlicher Rückblick	5
II.	ALLGEMEINER TEIL	
	1.) Histologisch-anatomische Vorbemerkungen zum Aufbau des peripheren Nerven	10
	2.) Der Erregungsablauf und die Übertragung der Erregung	13
	3.) Degeneration, Regeneration und trophische Funktion des Nerven	15
	4.) Einteilung der Nervenverletzungen	17
	5.) Motorisches und sensibles Versorgungsgebiet der drei grossen Armnerven und ihre Lähmungserscheinungen	21
II.	SPEZIELLER TEIL	
	KAPITEL A	
	Erörterung der Problematik bei der Behandlung peripherer Nervenverletzungen unter besonderer Berücksichtigung der Literatur	25
	1.) Wann ist der günstigste Zeitpunkt für eine Nervennaht?	25
	2.) Beeinflusst die Höhe der Verletzung das Ergebnis?	33
	3.) a) Welcher der drei Armnerven regeneriert am besten?	34
	b) Regenerieren die sensiblen oder motorischen Fasern besser?	35
	c) Spielt das Alter des Patienten eine Rolle bei der Nervenregeneration?	36
	4.) Beeinflusst die Art und das Ausmass der Verletzung das Ergebnis?	36
	5.) Kann durch intensive Nachbehandlung das Resultat verbessert werden?	40
	6.) Welche Operationstechnik verspricht die besten Ergebnisse?	42
	KAPITEL B	
	Eigene Untersuchungen an unserer Klinik	
	1.) Ergebnisse nach Naht peripherer Nerven an den oberen Extremitäten	44
	2.) Ergebnisse nach Neurolyse und Nervverlagerung an den oberen Extremitäten	49
	3.) Bemühungen zur Verbesserung der bisherigen Ergebnisse	50
IV.	ZUSAMMENFASSUNG	54
V.	SCHRIFTTUM	57

I. EINLEITUNG

PROBLEMSTELLUNG

Mit dieser Arbeit soll die Problematik der Nervverletzungen im Hinblick auf ihre bestmögliche Behandlung erörtert werden. Die in der Literatur angeführten Ergebnisse von Verlagerungen und Nähten peripherer Nerven der oberen Extremität sollen mit denen an unserer Klinik verglichen werden. Neue Behandlungsmethoden zur Verbesserung der bisherigen Ergebnisse sollen aufgezeigt werden.

GESCHICHTLICHER RÜCKBLICK

Der Nerv nimmt in der Geschichte der Medizin eine ganz besondere Stellung ein und das ist gar nicht verwunderlich, stellt er uns doch heute noch im Zeitalter der Anaesthesie und der modernen chirurgischen und wissenschaftlichen Technik vor scheinbar unlösbare Probleme.

Unklare anatomische Vorstellungen und seine Ähnlichkeit mit Sehnen und Ligamenten mögen wohl der Grund dafür sein, daß der Nerv bei den alten Griechen seinen Namen mit diesen teilen mußte und daß er bis ins 19. Jahrhundert von vielen Autoren mit diesen verwechselt wurde, obwohl doch bereits GALEN (131 - 201 v.Chr.) den Unterschied beschrieb und jedem seinen Namen gab: nervus, chorda und ligamentum.

Außerordentlich klare Vorstellungen von Nerven und Nervverletzungen in den verschiedensten Zusammenhängen finden wir bereits in den Schriften des HIPPOKRATES (460 - 370 v.Chr.). So schreibt dieser zum Beispiel:"Wer sich das sogenannte Narrenbeinchen angestoßen hat, wird sofort den Zusammenhang erfassen: Kommt der nervus ulnaris am Ellenbogen mit einem harten Gegenstand in Berührung, so wird der Unterarm den ganzen Verlauf des Nerven entlang bis zur Kleinfingerspitze für einen Moment empfindungslos (benommen)."Auch bei offenen Verletzungen an der Extremität, oder bei Luxationen, bei Kompressionen usw. beschreibt er Symptome, die auf eine Nervverletzung schließen lassen. HIPPOKRATES betont immer wieder die Schonung des Nerven. Seine Therapie besteht in der Applikation von Wärme. Er erwähnt nirgendwo eine chirurgische Behandlung des Nerven. Viele Autoren, die eine chirurgische Maßnahme am Nerv ablehnen, beziehen sich in der Literatur auf HIPPOKRATES, in der Annahme, er habe dies aus Furcht vor den`Convulsiones` unterlassen, wobei sie Convulsiones mit Tetanus oder Wundstarrkrampf identifizierten. Und man muß sich die Frage stellen, ob dieses gewichtigste aller Hindernisse in der Chirurgie peripherer Nerven nicht hauptsächlich auf eine falsche Interpretation des hippokratischen Textes zurückzuführen ist. Beachtenswert ist das Werk von CORNELIUS CELSUS (25 v.Chr.-45 n.Chr), durch das der lateinischen Welt das Wissen der Griechen vermittelt wurde. In ihm werden auch die Schriften des HEROPHILES (300 v.Chr.) und des ERASISTRATES (310 - 250 v.Chr.) erwähnt, die vernichtet sind.

Diese beiden Begründer der Alexandrinischen Schule haben die Anatomie und Physiologie der Nerven an menschlichen Leichen und zum Teil auch an lebenden Menschen studiert, allerdings um den Preis der persön= lichen Verfolgung. Sie stellten bereits den Unterschied zwischen Be= wegungs= und Empfindungsnerven fest.
Als echter Hippokratiker wird ARETAIOS von Kappadokien (um 50 n.Chr.) bezeichnet, der in seinen umfangreichen Studien über Anatomie und Physiologie der Nerven als erster zwischen Gehirn= und Rückenmark= lähmungen unterscheidet, wobei er die X-Kreuzung der Nerven im Ge= hirn entdeckte. Er war es auch, der den heutigen Tetanus genau be= schrieben hat:"Dieser beginne in den Kaumuskeln, sei höchst schmerz= haft, lebensgefährlich und schwer zu heilen."
Auf den Erkenntnissen der Alexandrinischen Schule baute GALEN (131 - 201 n.Chr.) seine Studien auf, die ein weiterer Fortschritt auf dem Gebiet der Forschung über die Nerven waren. Am Tierexperiment stellte er die willkürliche Kontraktionsfähigkeit des Muskelgewebes fest: "..... wir haben gesehen, woher diese willkürliche Bewegung im leben= den Körper kommt und auch durch welche Bahnen sie dorthin gelangt. Sie kommt vom Hirn und geht durch die Nerven in die Muskeln."
Außerdem beobachtete er das Phänomen der tonischen Kontraktion und gab ihr seinen Namen. In seiner Anatomielehre fordert er seine Kolle= gen auf, ihre Kenntnisse zu verbessern, um zum Beispiel zu vermeiden, daß bei einer Drüsenoperation am Hals der Recurrens verletzt würde.
Auch ORIBASIUS (325 - 403) aus Persien, ebenfalls aus der Alexandri= nischen Schule, ist zu erwähnen. Er hat in seinem 70 Bände umfassen= den medizinischen Werk den Nerven und ihrer Anatomie einen großen Platz eingeräumt.
Bei PAUL von AEGINA (625 - 690) taucht zum erstenmal der Wunsch auf, die Enden durchtrennter Nerven aneinanderzubringen, indem er sie "cum carne" heften will. Auch RHAZES (860 - 932) aus Persien erwägt die Naht eines durchtrennten Nerven, um die Retraktion der Enden zu verhindern, jedoch fürchtet er den Spasmus beim Einstechen in den Nerv. Sein Landsmann AVICENNA (980 - 1037), dessen "EL-KANUN" das beste und vollständigste Werk der chirurgischen Medizin bis ins 15. Jahrhundert war, setzte sich über diese Bedenken hinweg und führte die erste, wenn auch indirekte Nervnaht durch, indem er das Anein=

anderbringen der Nervenden durch Nähen des umliegenden Gewebes und der Haut bewerkstelligt. Diese indirekte Nahttechnik von AVICENNA wird in der "Chirurgia" von GUGLELMO da SALICETTO (1210 - 1280), Professor der Anatomie und Chirurgie in Bologna und vor allem in der "Chirurgie MAGNA" seines berühmten Schülers GUIDO LANFRANCHI (- 1315) aus Mailand beschrieben und findet so eine weitreichende Verbreitung.

Trotzdem war die Frage, ob bei einer Nervdurchtrennung ein Eingriff nach RHAZES aus Furcht vor Spasmus zu vermeiden oder nach AVICENNA "cum carne" zu nähen sei, jahrhundertelang umstritten. Auch waren es nur wenige Chirurgen, deren Anatomiekenntnisse eine kompetente Stufe erreicht hatten. Erst durch die hervorragenden Zeichnungen und Modelle LEONARDO da VINCIS (1452 - 1519) von dem anatomischen Verlauf von Muskeln, Sehnen und Nerven war ein Unterrichtsmaterial geschaffen, das bahnbrechend wirkte. LEONARDO da VINCI findet bei seinen Studien das Rückenmark als die Quelle der die Muskeln innervierenden Nerven mit ihrer unterschiedlichen Dicke und das Gehirn als den Ort der Impulssendung.

ANDREAS VESALIUS (1514 - 1564) veröffentlichte 1553 seine weltberühmte "Fabrica" mit ähnlichen anatomischen Tafeln, die von dem Maler CALCAR angefertigt wurden. Bei AMBROISE PARE (1510 - 1590) finden wir in seinem "Dix Livres de la Chirurgie" einen sogenannten Nervenmann, dem eine Tafel aus der "Fabrica" zugrunde liegen könnte. In seinem Werk kommt die Furcht vor Tetanus besonders deutlich zum Ausdruck, die gerade auf dem Schlachtfeld einer tatkräftigen Chirurgie der peripheren Nerven im Wege gestanden hat.

Die erste richtige Nervnaht wird in der Literatur allgemein GABRIELLE FERRARA (2. Hälfte des 16. Jahrhunderts), Chirug in Mailand, zuerkannt. Er hat in seinem Buch "Selva d'avvertimenti" (1596) seine Technik beschrieben, wobei er als Nahtmaterial feine Schildkrötensehnen, die zuvor in Wein getränkt wurden, verwendet und die Naht direkt in den Nerv setzt, ohne sich vor "Convulsiones" zu fürchten. Dem Patient wird Bettruhe und Ruhigstellung des Gliedes verordnet. Aber trotz dieser hervorragenden Pionierarbeit konnte sich die Nervnaht noch fast 2 Jahrhunderte nicht durchsetzen.

Während dieser Zeit sollen jedoch noch einige Männer genannt werden, wie THOMAS WILLIS (1621 - 1675), der den Zusammenhang zwischen zentralem Nervensystem und peripherem Gefäßsystem erkannte und ROBERT WHYTT (1714 - 1766) von Edinburgh, der fand, daß nicht das Gehirn, sondern das Rückenmark der Ausgangspunkt der Reflexbewegungen sei. Er prägte auch die Benennungen "afferent" und"efferent" auf Grund der epochemachenden elektophysiologischen Experimente am Nerv von GALVANI und VOLTO (Mitte des 18. Jahrhunderts).

Erst am Ende des 18. Jahrhunderts wurden von CUMBERLAND CRUIKSHANK (1795) wieder Nervnähte vorgenommen, nachdem er durch seine Untersuchungen die Regenerationsfähigkeit der durch direktes Trauma verletzten Nerven festgestellt hatte. Obwohl seine Erfolge mittels Nachkontrollen erwiesen waren, und obwohl CRUIKSHANK in den Arbeiten von FONTANE (1771), MICHAELIS (1785)und HAIGHTON (1795), die ebenfalls von erfolgreichen Nervnähten berichten, eine wertvolle Unterstützung fand, wurde ihre Bedeutung nur sehr langsam erfaßt. Es dauerte noch über ein halbes Jahrhundert, bis die Frage, ob indirekte oder direkte Nervnaht zugunsten der letzteren entschieden wurde.

NELATON (1864) nahm als Nahtmaterial Silberdraht, LAUGIER (1864) wandte die Seidennaht und VULPIAN (1870) die Zwirnnaht an. Jedoch legten alle die Einzelknopfnähte durch den ganzen Querschnitt des Nerven. Sie erreichten dadurch nur eine Adaptation der Nervenstümpfe mit unterschiedlichem Ergebnis.

Die erste epineurale Nervnaht wurde von HUETER (1871) ausgeführt. Von da an wurden die Publikationen über Eingriffe am peripheren Nerven immer häufiger. Von der Vielzahl der Autoren ist RICHARDSON (1886) zu erwähnen, der vor der Naht die gequetschten Nervenstümpfe reseziert. Die Berichte über Früherfolge erscheinen jedoch unwahrscheinlich und NASSE (1839) versuchte schon mit dem Irrtum aufzuräumen, daß die Funktion des Gliedes schon zum Zeitpunkt der Wundheilung der Haut wieder hergestellt sei, indem er feststellte, daß die Degeneration der Regeneration vorangehe, und der Heilungsprozess des Nerven deshalb eine gewisse Zeit in Anspruch nahme.

Der Grund, daß sich trotz allem die Nervnaht nur sehr langsam durchzusetzen vermochte, liegt zum größten Teil in den Angriffen berühmter

Autoren, wie VIRCHOW (1863) oder COURVOISIER (1886), die über nachteilige Komplikationen der Naht, wie Neuritis, Erysipel, schwere Phlegmonen, Tetanus, Fieber und Sepsis schreiben. Auch war vor Mitte des 19. Jahrhunderts die Unzulänglichkeit der örtlichen Betäubung und das Fehlen der Narkose ein großes Hindernis, wodurch ein Eingriff gerade am Nerven eine äußerst schmerzhafte Angelegenheit war.

In dieser Zeit tauchen auch schon die ersten Berichte auf, in denen man sich mit der Überbrückung von Nervendefekten befaßt. Erstaunlicherweise beginnt dieses aktuelle Kapitel gleich mit dem schwierigeren Verfahren der Defektüberbrückung, dem Nerventransplantat selbst. Am Tierversuch war es PHILIPEAUX (1870), der als erster ein Nerventransplantat machte. Am Menschen soll ALBERT (1878) als erster einen haselnußgroßen Defekt, der durch die Excision eines Sarkoms entstanden war, mit einem Nervensegment aus einem frisch amputierten Glied erfolgreich überbrückt haben. In der Folgezeit hat man mit den verschiedensten Mitteln versucht, Nervendefekte zu überbrücken, doch all diese Methoden wurden wieder zu Gunsten des eigentlichen Nerventransplantates verlassen.

Einen wesentlichen Aufschwung aber nahm die Chirurgie peripherer Nervenverletzungen im ersten und noch mehr im zweiten Weltkrieg, wo schätzungsweise 3 % aller Läsionen der oberen Extremität Nervenverletzungen waren. Dadurch, daß man diese Verletzungen nicht an der Front, sondern in gesonderten Zentren hinter der Front sammelte, ergaben sich ausgezeichnete Beobachtungsmöglichkeiten. So zeigte es sich, daß über 50 % aller Nervenverletzungen durch konservative Behandlung geheilt oder gebessert werden konnten(VOGEL (1941), TÖNNIS und GÖTZE, STROTZKA (1942), SUNDERLAND (1947) und andere). Manche Autoren glaubten daraufhin eine abwartende Haltung einnehmen zu müssen. Dies barg jedoch die Gefahr, daß sie den günstigen Moment für den Eingriff verpaßten.

II. ALLGEMEINER TEIL

Vor der Erörterung spezieller Fragen über Verletzungen am peripheren Nerven darf noch einmal an Grundsätzliches zur Anatomie und Physiologie des peripheren Nervensystems erinnert werden. Sind doch diese theoretischen Kenntnisse die Voraussetzung zum Verständnis der Problematik der Nervverletzungen in Bezug auf ihre chirurgischen und konservativen Behandlungsmöglichkeiten.

1.) Histologisch-anatomische Vorbemerkungen zum Aufbau des peripheren Nerven.

Das gesamte Nervensystem baut sich auf aus Neuronen, das heißt, aus Nervenzellen mit ihren Fortsätzen. Diese Fortsätze einer Zelle können sich mit denen anderer Zellen innig durchflechten, so wie das Buschwerk benachbarter Sträucher, ohne dabei miteinander zu verschmelzen. Es soll jedoch nicht auf die Vielgestalt der Nervenzellen eingegangen werden, sondern nur kurz am Beispiel der hier interessierenden motorischen Vorderhornzelle die wesentlichen Punkte rekapituliert werden.

Jede Nervenzelle hat zahlreiche kürzere, sich verjüngende Fortsätze, die Dendriten, und einen langen Fortsatz, den Neuriten, der die periphere motorische Nervenfaser darstellt. Im Anfangsteil ist der Neurit sehr dünn und markarm, im weiteren Verlauf ist er von einer relativ dicken Markscheide umgeben, die in regelmäßigen Abständen durch die "Ranvier`schen Schnürringe" unterbrochen ist und die kurz vor der peripheren Endverzweigung verloren geht. Der Neurit verzweigt sich mehrfach, und zwar gibt er schon innerhalb des Rückenmarks eine oder mehrere Kollateralen ab. Schließlich teilt er sich in der Peripherie, und zwar so, daß er nicht nur eine, sondern mehrere Muskelfasern innerviert, wobei er mit diesen eine motorische Einheit bildet.

Auf der Nervenzelle und im Anfangsteil der Dendriten endigen Nervenfasern anderer Neurone mit ihren Endknöpfen. Die Endungen können in verschiedenen Gebieten recht unterschiedlich sein, doch ist immer dasselbe Prinzip gewahrt, daß nämlich eine direkte protoplasmatische Kontinuität von einem Neuron zum anderen nicht besteht, sondern, daß die Synapse zweier Neurone auch anatomisch eine be-

sondere Stellung einnimmt. Zellkörper und Anfangsteile des Dendriten stellen also das Empfangsorgan des Neurons dar, in dem die Erregung des einen Neurons am nächsten diejenige Reaktion bewirkt, welche es seinerseits zu einer Impulssendung befähigen. Der Neurit ist das Leitungsorgan, in dem die neu entstandene Erregung fortgeleitet wird.

Nicht alle Neuriten sind mit einer Markscheide umgeben. Vor allem die Fasern des vegetativen Nervensystems, sowie bestimmte sensible Fasern sind markarm, beziehungsweise marklos.

Der Inhalt der Nervenzelle ist flüssig. CALUGEREANU konnte nachweisen, daß, wenn ein auf die Zelle ausgeübter Druck wieder aufgehoben wird, der Inhalt wieder an die Stelle zurückfließt, wo er ursprünglich war. Im Axoplasma finden sich kolloidgelöste Proteinmoleküle, die in ihrer regelmässigen Anordnung für die Doppelbrechung im polarisierten Licht verantwortlich sind. Außerdem ist im Axon viel Kalium enthalten, jedoch wenig Natrium und Chloride. Dies ist für die elektrische Potentialdifferenz innerhalb und außerhalb der Nervenfaser entscheidend.

Umgeben wird das Axoplasma, wie bereits erwähnt, von einer Mark- oder einer Myelinscheide, die aus einer kontinuierlichen Schicht stark lichtbrechender Eiweißlipoide und Phosphatide besteht. Der Myelinscheide liegt nach außen die "Schwann`sche Zelle" auf. Jeweils zwischen zwei Schnürringen liegt ein Kern (Intervall: 1-3 mm). Der Schwann`schen Zelle liegt eine dünne Eiweißschicht, das N e u r i l e m m auf, das mit in die Ranvier`schen Schnürringe eindringt. Alle diese Strukturen werden schließlich von einer bindegewebigen Hülle, dem Endoneurium umgeben, und bilden zusammen die Nervenfaser.

Das Endoneurium besteht aus längsverlaufenden Fibrillen und fibrozytenähnlichen Zellen (RÖHLING und KNOP 1961). KEY und RETZIUS fanden 1876, daß die Fibrillen eine Scheide um jede einzelne Nervenfaser bilden. (Die Scheide ist außer nach KEY und RETZIUS auch noch nach HENLE benannt worden). Es soll bereits an dieser Stelle auf die Bedeutung des Endoneuriums für die Regeneration und Nervenfaser aufmerksam gemacht werden, da es dieser als Leitschienen nach Degeneration des Axons und der Myelinscheide dient.

Eine verschieden große Zahl von Nervenfasern werden durch das P e r i n e u r i u m zu Nervenbündeln vereinigt. Das Perineurium wird

aus Lamellen gebildet, die sehr zahlreich sind (bis zu 12), die jedoch nach distal zu immer weniger werden. Die Lamellen bestehen aus eng aneinander liegenden platten Zellen, die denen des Plattenepithels ähneln. Die Lamellen könnte man mit ineinandergesteckten Gummischläuchen vergleichen. An der Innen- und Außenfläche der Lamellen finden wir eine Basalmembran. Den peripheren Nerv schließlich bildet eine verschieden große Anzahl dieser Nervbündel, die von lockerem Bindegewebe umgeben werden, das nach außen in einer kollagenen Faserschicht endet. Diese letzte Umhüllung wird E p i n e u r i u m genannt. In dem lockeren Bindegewebe des Epineurium sind Fettzellen in unterschiedlicher Häufigkeit eingelagert.

2.) Der Erregungsablauf und die Übertragung der Erregung.

Der Erregungsablauf ist ein streng gekoppelter chemischer und physikalischer Prozess, d.h. die Auslösung einer Erregung und ihre Fortleitung ist nicht denkbar, ohne den gleichzeitigen Ablauf ganz bestimmter, spezifisch-chemischer Reaktionen, die sich in einem erhöhten Energiebedarf (Tätigkeitsumsatz) manifestieren. Schon der nicht erregte Nerv hat einen relativ hohen Energieverbrauch (Ruhe= oder Grundumsatz) und zwar muß der Nerv ständig freie Energie zur Verfügung stellen, um eine ganz bestimmte Ordnung seiner Moleküle aufrecht zu erhalten (Erhaltungsumsatz). Ferner erweist sich der Nerv als polarisiert, d.h. es besteht eine bestimmte Differenz in der Konzentration der Jonen im Inneren, gegenüber der umspülenden interstitiellen Flüssigkeit. Die Aufrechterhaltung dieser sogen. P o t e n t i a l d i f f e r e n z (40 - 80 mV) ist notwendig, wenn der Nerv erregbar, d.h. leistungsbereit sein soll, und auch dies erfordert laufend eine Energiezufuhr (Bereitschaftsumsatz).

Im Ruhezustand ist das Nerveninnere, in dem sich hauptsächlich H^+ befindet, negativ geladen zum Interstitium, das vor allem Na^+ und in geringer Menge auch Cl^- in Lösung hält. An der Membra ist Ca^{++} gelagert. Trifft nun den Nerv ein physiologischer Reiz, so wird Ca^{++} neutralisiert bzw. gebunden, die Membranpermeabilität erhöht sich schlagartig, und zwar zuerst für Na^+ auf das ca.500-fache, so daß Na^+ plötzlich entsprechend seinem Konzentrationsge= fälle und seinem elektrischen Gefälle von außen in das Zellinnere einströmt und so zu einer Positivierung führt. Die Außenfläche ist jetzt negativ geladen gegenüber dem Inneren und der unerregten Um= gebung (Aktionspotential). Die Permeabilität für Na^+ geht jedoch rasch auf das ursprüngliche Niveau zurück, während allmählich die Permeabilität für K^+ ansteigt. Damit fließt auch dieses Jon stär= ker "bergab" -jedoch nun von innen nach außen- und hebt dadurch die Potentialumkehr wieder auf. Anschließend werden durch die fort= laufende Tätigkeit der Na^+ -und K^+- Pumpe unter Energieaufwand (Tä= tigkeitsumsatz) die eingetrungenen Na^+- Jonen wieder herausgepumpt und die K^+ zurückgeholt, so daß sich der ursprüngliche Zustand wie= der herstellt.

Die Fortleitung der Erregung spielt sich nun folgendermaßen ab: Zu dieser erregten, elektrisch negativ gewordenen Stelle fließen von der Umgebung her Ströme, die zur Erregung der benachbarten

Nervenstelle führen (Strömchentheorie nach HERMANN 1872). Die Synapsen verhindern, da sie die Erregung nur in einer Richtung zu übertragen vermögen, eine Fortpflanzung der Ströme nach beiden Seiten. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit steigt bei zunehmender Faserstärke. Viel entscheidender jedoch als der Faserdurchmesser ist das Vorhandensein der Markscheide. So schwankt die Leitungsgeschwindigkeit zwischen 0,5 - 120 m/sec. Die Markscheide stellt nämlich eine Isolierschicht dar, die nur an den Ranvier'schen Schnürringen unterbrochen ist, so daß sich hier die Impulse saltatorisch fortpflanzen, indem der Membranstrom von einem zum anderen Ranvier'knoten "springt". Durch die Markscheide ist also nicht nur eine bessere Isolation der Faser gegen Jonenverluste gewährleistet und damit der Energieverbrauch in Ruhe und bei Tätigkeit erniedrigt, sondern sie ermöglicht auch eine hohe Leitungsgeschwindigkeit in verhältnismäßig dünnen "Kabeln". So müßte z.B. unser Nervus femoralis den Umfang eines starken Schiffstaues annehmen, wenn er bei gleicher Faserzahl und gleicher Leitungsgeschwindigkeit nur aus marklosen Fasern bestünde.

Die Übertragung der Erregung beispielsweise auf den quergestreiften Muskel darf keinesfalls so verstanden werden, daß das Aktionspotential des Nerven an den Endplatten nun direkt auf den Muskel abgeleitet wird. Es stehen hier im Gegenteil die chemischen Vorgänge noch stärker im Vordergrund als bei der Erregungsleitung im Nerv. Es konnte festgestellt werden, daß die motorischen Nervenfasern cholinerg sind, d.h., daß bei Ablauf einer Erregung Acetylcholin freigesetzt wird.

Das Acetylcholin bewirkt an der Endplattenmembran eine Erhöhung der Permeabilität für alle Jonen und es entsteht in analoger Weise zum Aktionspotential an der Endplatte ein Endplattenpotential. Dieses greift nun auf die angrenzenden Teile der Muskelmembran über und bewirkt dort wiederum eine Depolarisation, die schließlich zu einer Erregung und Kontraktion der Muskelfaser führt.

3.) Degeneration, Regeneration und trophische Funktion des Nerven.

Die Nerven haben nicht nur eine erregungsleitende, sondern auch eine ernährende Funktion. Bei einer Nervdurchtrennung verfallen die distalen Anteile der Fasern der Degeneration (WALLER'SCHE Degeneration), die aus regressiven und progressiven Veränderungen besteht. Die wichtigsten Veränderungn im distalen Stumpf werden durch den Abbau der Myelinscheide und des Achsenzylinders mit nachfolgender Auflösung und Resorption der Abbauprodukte unter Bildung sogenannter Verdauungskammern oder "Ovoiden" gebildet. Die progressiven Veränderungen bestehen im Auftreten von Makrophagen, welche die Abbauprodukte wegräumen, und in der Umwandlung und Proliferation der Schwann'schen Zellen in solide Bünger'sche Stränge. Im proximalen Stumpf beschränken sich diese Veränderungen auf die unmittelbare Umgebung der Wunde. Hinzu kommen noch durch das Trauma gesetzte Reaktionen der Wundflächen und Entzündungserscheinungen.

Die regressiven Veränderungen sind einige Tage nach der Nervdurchtrennung fast abgeschlossen. Die Neurilemmhüllen, die von den lytischen Veränderungen während der Frühdegeneration nicht berührt wurden, dehnen sich infolge der Ansammlung von Makrophagen und Abbauprodukten aus. Durch die Turgorzunahme kommt es zu einer Schwellung des gesamten Nerven, was zur Folge hat, daß die endoneuralen Spatien komprimiert werden, und es so zu einer Behinderung der Blutversorgung kommt. Nach etwa einer Woche werden Mitosen in den Schwann'schen Zellen beobachtet und die sich vergrößernden Zellverbände füllen das Lumen der Hüllen aus, bis auf die Stellen, wo die Ovoide oder Makrophagen noch vorhanden sind. Zum Teil dringen sie auch von den offenen Hüllen aus in das umliegende Gewebe, um an der Bildung der sogenannten Gliome oder Schwannome der peripheren Nervenstümpfe teilzunehmen. Der so umgewandelte "degenerierte" periphere Stumpf dient der Aufnahme der aus dem proximalen Stumpf auswachsenden Axone.

Die Regeneration nimmt ihren Ausgang von der Nervenzelle. Es konnte nachgewiesen werden, daß bei Verletzung eines Nerven die Nucleoproteidbildung des Nucleolus nach anfänglichem Abfall erhöht wird, und daß sie durch Stoffe, die die Regeneration des Nerven beschleunigen, eine weitere Steigerung erfährt. Aus diesen und zahlreichen anderen Versuchen kann man annehmen, daß von der Nerven=

zelle aus ein ständiger, langsamer Stoffstrom über den Nerven nach der Peripherie zieht. (v.EULER, P.WEISS). Diese Stoffe beeinflussen nicht nur den Nerven selbst, sondern auch den Fermentgehalt des innervierten Gewebes. So hat BURN gezeigt, daß nach Ausschaltung des symphatischen Innervation eines Organs, dieses an Aminooxydase verarmt. Nor-adrenalin oder Adrenalin, das auf dem Blutwege oder durch Diffusion von der Nachbarschaft in den entnervten Bezirk gelangt, wird deshalb langsamer zerstört, und wirkt länger und stärker. So erklärt es sich, daß der entnervte Bezirk gegenüber den Wirkungen von Nor-adrenalin und Adrenalin empfindlich wird (Gesetz der Denervation von CANNON). In analoger Weise wird die motorische Endplatte des Muskels einige Tage oder Wochen nach Nervdurchtrennung empfindlicher gegenüber Acetylcholin. Es kommt dann zu fibrillären Zuckungen, d.h. völlig regellosen Kontaktionen einiger Muskelfasern (nicht motorischer Einheiten). Die Zerstörung des Acetylcholins, das an der Endplatte auch ohne einlaufende Erregung ständig in kleinen Mengen frei wird, ist durch Verarmung des Gewebes an Cholinesterase verlangsamt, kann sich dadurch anhäufen und diese fibrillären Zuckungen auslösen.

Die Hauptrolle beim Vorgang der Regeneration spielt das Auswachsen der Axone aus dem proximalen Stumpf (Wachstumsgeschwindigkeit: 1-2 mm pro Tag.). Verschiedene Theorien versuchen die Frage zu beantworten, was die Wachstumsrichtung beeinflußt: Kontaktführung, geringster Wiederstand, Neurotropismus (CAJAL), oder Galvanotropismus usw. Durch neuere Untersuchungen konnten jedoch, bis auf die Kontaktführung, alle diese Theorien widerlegt werden. Kontaktführung heißt, daß die Richtung der Nervenfaser durch die Beschaffenheit allein der unmittelbaren Umgebung beeinflußt wird. Bei Vorhandensein von Pfaden, wie sie der degenerierte Nerv bietet, kommt es zu einem geordneten, im Narbengewebe zu einem ungeordneten Wachstum. Das Vorwachsen der Nervenfaser ist nur ein Teilvorgang eines reifen, funktionstüchtigen Nerven. Zur Reifung gehören noch die Anreihung der Hüllenzellen, die Myelinbildung, die Schnürringbildung, die Durchmesserzunahme und die funktionelle Anpassung, so daß der regenerierte Nerv schließlich den gleichen Aufbau wie ein normaler Nerv hat. Zwar nimmt das endoneurale Bindegewebe mehr Raum ein und die Schnürringe sind unregelmäßiger angeordnet, wichtiger jedoch für eine Funktionsrückkehr scheint die Wiederherstellung des

Faserdurchmessers zu sein. WEISS, DAVID und MAYLANDER haben festgestellt, daß das Breitenwachstum langsam von proximal nach distal fortschreitet. Gelangen jedoch breite Fasern in enge Hüllen, so behalten sie einen kleinen Durchmesser. Ebenso werden schmale Fasern, die in breite Hüllen gelangen, nicht breiter. Im ersten Fall nämlich verwehrt die enge Hülle eine Ausweitung, im zweiten Fall schränkt die enge proximale Hülle den Nachschub ein. Da aber die Myelinisierung gering bleibt oder überhaupt nicht stattfindet, wenn das Wachstum eingeschränkt ist, muß auch die Funktionsrückkehr mangelhaft sein.

Das Problem der Spezifität der Fasern ist noch nicht völlig gelöst. Experimentelle und klinische Untersuchungen weisen darauf hin, daß eine beschränkte "Wiedererziehung" von falschen Faserverbindungen möglich ist. Im Allgemeinen kann man sagen, je mehr die Regeneration von der Norm abweicht, umso ungeordneter wird der funktionelle Status nach der Erholung ausfallen.

Aus diesen Erkenntnissen über die Regeneration des Nerven geht ganz klar hervor, wie entscheidend eine bestmögliche Adaption der Nervenden bei der Naht peripherer Nerven ist.

4.) Einteilung der Nervverletzungen

SEDDON hat 1943 eine zweckmäßige Einteilung der Nervverletzungen eingeführt. Er unterscheidet

A. Neuropraxis
B. Axonotmesis
C. Neurotmesis

Diese drei Arten von Verletzungen unterscheiden sich in pathologisch-anatomischer, in klinischer und prognostischer Hinsicht.

A. Die Neuropraxis

Die Neuropraxis ist die leichteste Art der Nervenverletzungen mit relativ kurz dauernden klinischen Auswirkungen. Pathologisch-anatomisch handelt es sich dabei um eine lokalisierte Fragmentation des Myelins (von BÜNGER 1891, DENNY, BROWN und BRENNER 1944). Darum besteht klinisch auch vorwiegend eine motorische Lähmung (myelinreiche Fasern), während die Sensibilität nur gering gestört ist. Ausfälle des Symphatikus sind ungewöhnlich. Auch die elektrische Erregbarkeit der versorgten Muskeln ist normal. Die Wiederherstellung erfolgt spontan nach Tagen bis Wochen (typisches Beispiel: die sogenannte Schlaflähmung).

B. Die Axonotmesis

Bei dieser Art der Nervenverletzung bleiben die bindegewebigen Strukturen erhalten, und nur die Achsenzylinder werden in ihrer Kontinuität unterbrochen (Ursache meist Frakturen). Klinisch besteht eine vollständige Lähmung der Motorik, der Sendibilität und der symphatischen Funktionen. Wenn die WALLER'sche Degeneration vollständig ist, kommt es zur Atrophie der Muskulatur im Versorgungsgebiet und möglicherweise zu irreversiblen fibrösen Veränderungen. Chirurgische Maßnahmen erübrigen sich, da die bindegewebigen Hüllen erhalten sind und damit die Voraussetzung für eine vollkommene Wiederherstellung gegeben sind. Wann diese zu erwarten ist, hängt von der Höhe der Verletzung ab. Man rechnet mit einer Regenerationsgeschwindigkeit von 3 - 4 mm pro die. Diese kann jedoch möglicherweise durch krankgymnastische Übungen (Elektrisieren, Massagen) beschleunigt werden.

C. Die Neurotmesis

Bei der Neurotmesis handelt es sich pathologisch-anatomisch um eine vollständige Durchtrennung des Nerven, d.h. sowohl der Axone, als auch der bindegewebigen Hüllen. Grundsätzlich sind die klinischen Erscheinungen die gleichen, wie bei der Axonotmesis: vollständige motorische, sensorische und symphatische Lähmung, Entartungsreaktion, progressive Muskelatrophie. Daher ist eine Unterscheidung zwischen Axonotmesis und Neurotmesis im Frühstadium oft

nicht möglich; nur eine Frühexploration oder das Abwarten der Regenerationszeit kann hier eine Klärung verschaffen.

Die Neurotmesis kommt am häufigsten bei offenen Läsionen, z.B. bei Schußverletzungen oder Schnittwunden vor. Sie kann aber auch als Folge einer plötzlichen, starken Zugwirkung auftreten (Ruptur des Nerven).

Die Neurotmesis ist die Verletzungsart des Nerven, mit der wir uns hauptsächlich im speziellen Teil dieser Arbeit beschäftigen. Die chirurgische Maßnahme ist hier die epineurale Nervennaht.

Neben diesen drei Hauptgruppen von Nervenläsionen gibt es noch verschiedene Kombinationsmöglichkeiten:

a.) partielle Neurotmesis
b.) kombinierte Nervenläsionen
c.) Ischämie des Nerven
d.) Nervenkontusionen

a.) Bei der partiellen Neurotmesis betreffen die motorischen und sensiblen Ausfälle nicht das ganze Versorgungsgebiet des verletzten Nerven. Manchmal fällt nur die Sensibilität aus, oder es liegt nur eine motorische Lähmung vor. In manchen Fällen weisen eine Hyperaesthesie, Hypaesthesie, Hyperalgesie oder fortdauernder Schmerz auf eine partielle Läsion hin. Auch eine anhaltende Hypohydrosis im Versorgungsgebiet ist als Symptom einer partiellen Neurotmesis zu deuten. Bei einer solchen Nervenläsion entscheiden die klinischen Symptome und möglicherweise die Exploration, ob eine Nervennaht indiziert ist oder nicht.

b.) Kombinierte Nervenläsionen stellen oft schwierige diagnostische Probleme dar. Am häufigsten kommen die Kombinationen von partieller Axonotmesis und partieller Neurotmesis, sowie die Kombination von partieller Axonotmesis und Neurapraxis vor.

Beim ersten Fall wird die Therapie die gleiche sein, wie bei der Neurotmesis, d.h. epineurale Naht nach vorheriger Resektion. Die Verletzungsursache ist hier häufig eine Zerrung, die zu einer partiellen Ruptur des Nerven führte. Im zweiten Fall ist die häufigste Ursache neben einer Quetschung durch Unfall, eine fortschreitende Einengung des Nerven, sei es durch überschießenden Kallus nach Fraktur, durch Vernarbung des benachbarten Gewebes, oder durch degenerative Verände-

rungen des Knochens oder der Gelenke. Von letzterem ist der Nervus ulnaris am stärksten betroffen, und zwar auf Grund seiner anatomischen Verhältnisse. Eine Verlagerung des Nerven in ein gesundes Bett bringt hier die einzige Aussicht auf Heilung.

c.) Ischaemie des Nerven tritt bei Verletzungen von Hauptgefäßen mit oder ohne Kontinuitätsunterbrechung des Nerven auf. SEDDON und HOLMES beschreiben einen Fall mit einer Kontinuitätsunterbrechung des Medianus. Dabei war das distale Segment des Nerven vom proximalen Drittel des Vorderarmes bis zum Handgelenk zu einem strangförmigen Gebilde umgewandelt, welches sich histologisch durch ausgedehnte Kollagenisierung auszeichnete. Die ischaemischen Veränderungen fanden sich nur im Nerven, nicht aber in der Muskulatur. Die Autoren nehmen an, daß diese pathologischen Erscheinungen auf die Zerstörung der Arteria interossea volaris, sowie auf die Durchtrennung des Nerven mit der darauf erfolgenden Unterbrechung der longitudinalen Blutversorgung zurückzuführen warn. PARKES (1945) führt Fälle an, bei welchen es ohne Kontinuitätsunterbrechung des Nerven zu einer Lähmung desselben kam. Er kommt zur Schlußfolgerung, daß in diesen ischaemischen Nervenschädigungen ein traumatischer Arterienspasmus oder starke Schwellung unter der tiefen Fascie ursächlich beteiligt seien. Die Widerstandskraft gegenüber der Ischaemie ist nicht für alle Fasern gleich. Die höchste Resistenz haben die nicht myelinisierten Fasern.

d.) Nervenkontusionen.

LIPCHINA (1943) bezeichnet damit Nervenläsionen ohne epineurale Schädigung, denen jedoch verschiedenartige pathologisch-anatomische Veränderungen zugrunde liegen können. So unterscheidet er drei Arten von Kontusionen:

1.) Kontusionen nach Schußverletzung mit kleinstem intraneuralem Fremdkörper (z.B. Haar), der zu Riesenzellenbildung, Blutung, Entzündungserscheinungen und Narbenbildung führt.
2.) Kontusionen infolge Schußverletzungen ohne direkte Läsion des Nerven, wobei entzündliche Veränderungen im Nerv, Blutung und intraneurale Narbenbildung auftreten.

3.) In einer kleinen Anzahl solcher Schußverletzungen entstehen nur mehr oder weniger ausgedehnte intraneurale Narben.

Man könnte diese Kontusionen bis auf den Punkt 1.), der gewissermaßen einen Sonderfall darstellt, auch unter den Punkt b.) "kombinierte Nervenläsionen" einreihen, denn ob die auslösende Noxe nun ein Geschoß ist, oder eine Fraktur, in beiden Fällen sind es Veränderungen der Nervenumgebung, die zu Veränderungen im Nerven selbst und damit zur Unterbrechung der Nervenleitung führen. Ob diese intraneuralen Veränderungen reversibel oder irreversibel sind, kann nur eine Exploration und anschließende Verlagerung des Nerven in ein gesundes Bett ergeben.

5) Motorisches und sensibles Versorgungsgebiet der drei großen Armnerven und ihre Lähmungserscheinungen.

a.) Lähmung des N.radialis:

Diese häufig vorkommende Lähmung zeigt als auffallendes Merkmal die "Fallhand". Bei langanhaltender Lähmung kommt es zu einer starken Atrophie der Streckmuskeln am Ober- und Unterarm. Die Kanten der beiden Unterarmknochen treten deutlich hervor. Im Gegensatz zu der starken Beugestellung des Handgelenkes sind die Finger nur wenig gebeugt. Der Daumen steht fest unter dem Zeigefinger, ist also der Hohlhand mehr genähert, als auf der gesunden Seite. Es bestehen folgende Bewegungsausfälle: Die Hand kann nicht gehoben werden. Die Abduktion der Hand ist sowohl radialwärts als auch ulnarwärts stark behindert. Strecken und Abduzieren des Daumens ist nicht möglich. Die Finger können in den Grundgelenken nicht gestreckt werden. Nur in den Mittel- und Endgelenken ist eine Streckung möglich, wobei aber die Grundgelenke mehr gebeut werden (letztgenannte Funktion kommt durch die Mm.interossei und lumbricales zustande). Bei herabhängender Hand ist der Faustschluß stark behindert.

Bei hochsitzenden Radialislähmungen fällt der M.trizeps mit aus. Es kommt somit zur Streckunfähigkeit des Unterarmes.

Der Sensibilitätsausfall bei Radialislähmungen ist relativ unbedeutend, da sein Versorgungsgebiet an der Hand lediglich einen Teil des Daumenballens und des Handrückens einschließt.

b.) Lähmung des N.medianus:

Die Medianuslähmung tritt häufig mit der nachfolgend beschriebenen Ulnarislähmung gemeinsam auf, da beide Nerven an der Innenseite des Unterarmes verlaufen und dort gemeinsamen Schädigungen ausgesetzt sind.

Ins Auge fällt die typische Handstellung, die als "Affenhand" bezeichnet wird. Sie entsteht dadurch, daß der Daumen infolge Ausfallen der Daumenballenmuskeln vom langen Daumenstrecker handrückenwärts gezogen wird, und so dicht neben den zweiten Mittelhandknochen zu liegen kommt.

Die Bewegungsausfälle sind folgende: Der Daumen kann im Endgelenk garnicht, im Grundgelenk nur andeutungsweise gebeugt werden. Die Daumenopposition fällt aus. Die Beugung der Finger in den Mittel- und Endgelenken ist (mit Ausnahme des 4. und 5. Fingers, die im Endgelenk durch den tiefen Fingerbeuger bewegt werden können) nicht möglich. Die Beugung in den Grundgelenken ist mit herabgesetzter Kraft möglich. Die Handgelenkbeugung ist stark eingeschränkt, nur ulnarwärts besteht volle Beugekraft. Durch das Zusammenwirken des M.flexor carpi ulnaris und des M.abductor pollicis kann möglicherweise eine leicht angedeutete Bewegung des Handgelenkes zustandekommen. Diese Bewegung kann bei den Innervationsübungen irreführend sein, da sie unter Umständen für eine wiederkehrende Medianusfunktion angesehen werden kann. Die Pronation ist völlig aufgehoben. Nur aus extremer Supinationsstellung ist eine leicht pronierende Bewegung durch den M.brachioradialis möglich, die aber nur bis zur Mittelstellung zwischen Pro- und Supination führt.

Das sensible Versorgungsgebiet des Medianus umfaßt an der Volarseite der Hand neben Daumen-, Zeige- und Mittelfinger noch die radiale Hälfte des Ringfingers und den gesamten dazugehörigen Teil der Handfläche, während der korrespondierende Teil am Handrücken bis auf die betreffenden Finger im Versorgungsbereich des Radialis liegt.

c.) Lähmung des Nervus ulnaris:

Die für die Ulnarislähmung typische "Krallen- oder Klauenhand" zeigt eine starke Dorsalflexion der proximalen und eine starke Volarflexion der mittleren und distalen Fingerglieder, vornehmlich des vierten

und fünften Fingers. Diese Fehlstellung beruht auf einer Störung im Muskelgleichgewicht, die dadurch zustandekommt, daß die Mm. lumbricales und interossei, besonders des vierten und fünften Fingers ausfallen; der gemeinsame Fingerstrecker kann nun, da ihm die Gegenzügel fehlen, die Grundglieder der Finger überstrecken, und der oberflächliche Fingerbeuger kann aus dem gleichen Grunde die Mittelglieder in Beugestellung ziehen. Weiterhin auffallend ist die starke Atrophie zwischen Daumen und Zeigefinger und in den übrigen Zwischenknochenräumen, in der Hohlhand und an der ulnaren Kante des Unterarmes.

Bewegungsausfälle: Die Adduction des Daumens fällt aus. Bei dem Versuch, einen Gegenstand zwischen Daumen und Zeigefinger zu halten, wird das Endglied des Daumens zangenartig gebeugt (FROMMENT'sches Zeichen). Das Spreitzen und Schließen der Finger ist nicht möglich. Nur der kleine Finger kann durch den Fingerstrecker etwas abgespreizt werden. Diese Abductionshaltung des 5. Fingers bleibt auch in einigen Fällen als Überbleibsel nach einer überstandenen Ulnarislähmung zurück. Die Beugung des 4. und 5. Fingers im Endgelenk, sowie die Ulnarabduction der Hand ist nicht möglich. Auch das Festklemmen leichterer Gegenstände, wie Zigaretten u.ä. zwischen den Fingern, ist nicht möglich.

Der Ulnaris versorgt den kleinen Finger und die Hälfte des Ringfingers und den dazugehörigen Teil der Hand sensibel.

d.) Variationen der Innervation:

Bei der Diagnose einer frischen Nervverletzung und vor allem bei der Beurteilung der Nervregeneration muß man neben den möglichen Trickbewegungen auch die zahlreichen Variationen der peripheren Innervation kennen, um sich vor Irrtümern zu bewahren. Tabelle 1 zeigt die Innervation der Muskulatur und ihre Varianten (nach FOERSTER).

Tabelle 1

Muskel	Normale Innervation	Auxiliarische Innervation oder Variation
M. biceps brachii	N. musculocutaneus	N. medianus
M. brachialis (int.)	N. musculocutaneus	N. medianus, N. radialis
M. triceps brachii (caput mediale)	N. radialis	N. ulnaris
M. pronator teres	N. medianus	N. musculocutaneus, N. ulnaris
M. flexor carpi radialis	N. medianus	N. musculocutaneus
M. palmaris longus	N. medianus	N. musculocutaneus
M. flexor digitorum superficialis	N. medianus	N. musculocutaneus, N. ulnaris
M. flexor digitorum profundus	N. medianus	N. musculocutaneus, N. ulnaris
M. flexor pollicis l.	N. medianus	N. musculocutaneus
M. flexor pollicis (cap. superficialis)	N. medianus	N. ulnaris, N. musculocut.
M. opponens pollicis	N. medianus	N. ulnaris, N. musculocut.
M. abductor pol.brevis	N. medianus	N. ulnaris, N. musculocut.
Mm.lumbricales Iu.II	N. medianus	N. musculocutaneus
M. flexor carpi uln.	N. ulnaris	N. medianus
M. flexor digitorum profundus IVu.V	N. ulnaris	N. medianus
M. flexor poll-icis brevis (cap. prof.)	N. ulnaris	N. medianus
M. abductor pollicis	N. ulnaris	N. medianus
Mm.lumbricales III, IV	N. ulnaris	N. medianus
Mm.interossei	N. ulnaris	N. medianus
M. abductor digiti V	N. ulnaris	N. medianus
Hypothenar	N. ulnaris	N. medianus

III. SPEZIELLER TEIL

KAPITEL A

Erörterung der Problematik bei der Behandlung peripherer Nervenverletzungen unter besonderer Berücksichtigung der Literatur.

Die Literaturangaben über Erfolge und Mißerfolge nach peripheren Nervnähten sind teilweise ebenso konträr wie die Ansichten der einzelnen Autoren. Es würde zu weit führen, über jeden einzelnen Chirurgen und seine Ansichten ausführlich zu referieren. Dies ist auch gar nicht notwendig, denn es handelt sich in der Hauptsache um folgende 6 Streitfragen:

1. Wann ist der günstigste Zeitpunkt für die periphere Nervnaht ?
2. Beeinflußt die Höhe der Verletzung das Ergebnis ?
3. a.) Welcher der drei Armnerven regeneriert am besten ?
   b.) Regenerieren die sensiblen oder motorischen Fasern besser ?
   c.) Spielt das Alter des Patienten eine Rolle bei der Nervenregeneration ?
4. Beeinflußt die Schwere der Verletzung das Ergebnis ?
5. Kann durch intensive Nachbehandlung das Resultat verbessert werden ?
6. Welche Operationstechnik verspricht die besten Ergebnisse ?

1. Wann ist der günstigste Zeitpunkt für eine Nervnaht ?

Diese Frage taucht in der Literatur am häufigsten auf und die Ansichten über dieses so wichtige Problem sind sehr verschieden. Doch eigentlich handelt es sich hier nicht um ein, sondern um zwei ganz verschiedene Probleme. Denn es ist zu unterscheiden, ob es sich um eine offene oder eine geschlossene Verletzung handelt.

Die Frage a.) muß also lauten:

> Wann ist der günstigste Zeitpunkt für eine Nervnaht, wenn bei der primären Wundversorgung der Nerv durchtrennt vorgefunden wird ?

Die Frage b.) lautet:

> Wann muß bei einer geschlossenen Verletzung der Nerv exploriert werden, damit mit einer Nervnaht noch ein Erfolg erzielt werden kann ?

Zu Frage a.)

Soll man den durchtrennten Nerv sofort bei der primären Wundversorgung nähen ? Oder ist auf die Primärnaht zu verzichten und eine Sekundärnaht vorzuziehen ? Wann soll diese Sekundärnaht erfolgen ?

FONTAINE (1940) befürwortet bei einfachen Verletzungen die Primärnaht. Komplizierte Wunden läßt er offen und näht glatt durchtrennte Nerven sofort, während er zerrissene Nerven erst nach völliger Wundheilung näht. Er ist aber der Meinung, daß man mit der Sekundärnaht nicht länger als vier bis fünf Monate warten soll.

Weitere Verfechter der Primährnaht bei scharfen Nervdurchtrennungen sind HANKE (1938), JÄGER (1941) und EHALT (1939). Letzterer näht nach Möglichkeit gleich in den ersten 6 - 8 Stunden nach der Verletzung. Auch ZEUKER (1961) hält eine spätere Operation am Nerv wegen innerer Verwachsungen, Neurombildung und fortschreitender Degeneration der neuralten Elemente unsicher im Erfolg.

Andere Autoren führen ausschließlich Sekundärnähte aus. Zu ihnen gehören BERNTSEN (1944), SUNDERLAND(1949), TÖNNIS (1942) und Götze (1942), sowie BJORKESTEN (1947). Sie sind sich jedoch darüber einig, daß man nicht länger als ein halbes Jahr, höchstens aber ein Jahr mit der Naht warten sollte. Allerdings gibt es auch Chirurgen, die zu einem noch späteren Zeitpunkt Nervnähte durchgeführt haben. Ich möchte hier vorallem SEYLER (1954) nennen, der mit vielen späteren Sekundärnähten (bis zu 5 Jahren nach der Verletzung) leidlich gute Erfolge erzielen konnte.

Ganz im Gegensatz zu den meisten dieser Autoren empfiehlt SEDDON (1949) die frühe Sekundärnaht (ca. 4 - 5 Wochen nach der Verletzung), die in England als die Methode der Wahl ausgeführt wird. Auch in Amerika wird sie von einem Großteil der Autoren befürwortet. Zu diesen gehören u.a. SPURLING (1945), LYONS und WOODHALL (1949). COLEMAN (1943) führt die Primärnaht nur in den günstigsten Fällen aus, in den übrigen greift er zur Sekundärnaht. DAVIS und Mitarbeiter (1945) allerdings empfehlen die Primährnaht mit der Begründung, daß eine Wiederherstellung dabei erfolgen kann. Ist dies nicht der Fall, so sind wenigstens die Nervenden nicht retrahiert. Allerdings werden wir im Folgenden noch sehen, daß dies bei der Methode der frühen Sekundärnaht auch verhindert wird.

Die frühe Sekundärnaht hat im Vergleich zu all den anderen Methoden viele Vorteile und darf heute allgemein als beste Lösung angesehen werden. Diese Ansicht wird auch von NIGST (1959) vertreten.

SEDDON schließt zwar die Möglichkeit eines Erfolges bei einer Primärnaht nicht aus, befürwortet jedoch die frühe Sekundärnaht mit folgenden Begründungen:

a.) Interstitielle Schädigungen des Nerven im proximalen und peripheren Stumpf können erst nach 3 Wochen als interstitielle Narbenbildung nachgewiesen werden. Bei frischen Nervenverletzungen ist die Ausdehnung der Läsion nicht sicher beurteilbar.

b.) Die notwendige Mobilisierung des Nerven, welche für eine spannungslose Naht Voraussetzung ist, kann bei der primären Wundversorgung, trotz Chemotherapie nicht verantwortet werden.

c.) Die Nervenscheide ist für eine Primärnaht ein äußerst zerreißliches Gebilde. Nach drei Wochen verdickt sich diese auf einer Länge von 1-2 cm und ermöglicht so eine gute Naht.

d.) Nach der Primärnaht bildet sich eine Narbe, welche alle den Nerven umgebenden Gebilde umfassen kann. Wenn dann die Extremität mobilisiert wird, kommt es zu Zugwirkungen an der Nahtstelle, welche zu ihrer teilweisen oder vollkommenen Ruptur führen kann. Auch kann es zu Bewegungseinschränkungen infolge Adhäsionsbildung des Nerven mit der Umgebung kommen. Bei der frühen Sekundärnaht hingegen ist es möglich, den Nerv in ein gesundes Bett zu legen.

Die frühe Sekundärnaht wird frühestens nach 3 Wochen, wenn möglich in der dritten bis vierten Woche ausgeführt. Zu diesem Zeitpunkt ist die Proliferation der SCHWANN`schen Zellen am stärksten (HOLMS und YOUNG). Sie nimmt dann rasch ab, sodaß die Vereinigung mit einem degenerierten peripheren Stumpf nach 100 Tagen oft unbefriedigend ist.

Außerdem hat SEDDON noch folgende Nachteile der späten Sekundärnaht gegenüber der frühen Sekundärnaht genannt:

1.) Die Aktivität der SCHWANN`schen Zellen auf der Höhe der Nahtstelle flaut ab.
2.) Die SCHWANN`schen Zellen schrumpfen.
3.) Die motorischen Endplatten verschwinden.
4.) Muskeln atrophieren und werden durch fibröses Gewebe ersetzt.

5.) Möglicherweise atrophieren auch die sensorischen Endorgane.
6.) Die Nervenstämme schrumpfen und erschweren so die Naht.

Diese klaren und einleuchtenden Aufzeichnungen wurden von SEDDON noch dadurch untermauert, daß er selbst eine Anzahl von Primärnähten ausgeführt hatte, welche alle schlechtere Resultate zeigten, als seine frühen Sekundärnähte.
Auch ZACHARY und HOLMES (1946) versuchten die Resultate von 55 Primärnähten mit einer Serie von 55 frühen Sekundärnähten zu vergleichen. Dabei fanden sie, daß mehr schlechte und weniger gute Resultate nach Primärnähten als nach der frühen Sekundärnaht vorlagen. Hier muß allerdings gesagt werden, daß die von den Autoren gesammelten Primärnähte von den verschiedensten Chirurgen ausgeführt wurden, von denen zumindest der größte Teil nicht die Erfahrung hatte, wie die Gruppe von Operateuren in Oxford.

Selbst wenn man also aus diesem Grund die Untersuchung von ZACHARY und HOLMES nicht als Beweis für eine Überlegenheit der frühen Sekundärnaht anführen möchte, so machen sie doch auf einen weiteren sehr wichtigen Punkt aufmerksam:
Nervnähte sollten nur in Kliniken durchgeführt werden, die mit der Chirurgie peripherer Nerven vertraut sind. Durch die frühe Sekundärnaht ist gerade auch dem praktischen Arzt, der ja oft in der Sprechstunde bei Gelegenheitswunden auf Nervläsionen stößt, die Möglichkeit der Einleitung einer kunstgerechten Behandlung gegeben, die er auch mit den primitivsten Mitteln durchführen kann. Er sollte wissen, daß er sich damit begnügen darf, die Nervenden zu adaptieren, um eine Retraktion zu verhindern. Wenn er nämlich glaubt, er müßte den Nerv gleich primär nähen, und dann mit untauglichen Instrumenten und Nahtmaterial und vielleicht noch ungeschickt eine Naht durchführt, dann geht durch das Warten auf die Regeneration kostbare Zeit verloren und der ideale Zeitpunkt für die Sekundärnaht wird verpaßt. Darum ist es von großer Wichtigkeit, daß jedem Arzt diese Erkenntnisse bekannt sind.

Folgende Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der einzelnen Erfolgsquoten bei Nervnähten unter Berücksichtigung der jeweiligen Methode.

belle 2

sammenstellung der einzelnen Erfolgsquoten bei Nervnähten unter rücksichtigung der jeweiligen Methode (Angabe in %)

erateur:	Erfolge:	Besserung:	Mißerfolge:	Methode:
NKE	55	42	3	Primärnaht
GER	50-60	-	-	Primärnaht
ND	70,8	-	-	Sekundärnaht
RNTSEN	66	-	-	Sekundärnaht
NDERLAND	60	0	40	Sekundärnaht
RRESTEN	100	-	-	Sekundärnaht
NNIS	95	-	-	Sekundärnaht
LDNER	23,5	47,1	29,4	Sekundärnaht
JNER	7,0	56,6	36,4	Sekundärnaht
RICHE	39	0	61	Sekundärnaht
ALT	33,3	32,2	34,5	Primärnaht
KELLARIDES				
torik:	61	13	26	Primärnaht
ei leichteren	61,6	21,8	16,6	Sekundärnaht
erletzungen)	25,5	38,2	36,3	wiederholte Naht
nsorik:	46,5	20,5	33	Primärnaht
ei leichteren	56	29	15	Sekundärnaht
erletzungen	38	36,5	25,5	wiederholte Naht

Wie zu Beginn dieses Kapitels schon gesagt wurde, fällt auf, wie groß die Unterschiede in den Erfolgsangaben der einzelnen Autoren sind. Um das zu zeigen, wurde Tabelle 2 hier gebracht, die mehr einen historischen als einen statistischen Wert darstellt, denn für das Resultat einer Nervnaht sind ja außer dem Zeitpunkt noch andere Faktoren von Bedeutung, die jedoch in der Tabelle nicht zum Ausdruck kommen. Außerdem wurden die Erfolge bzw. Mißerfolge von den einzelnen Autoren nicht nach einem einheitlichen Schema beurteilt, sondern mehr oder weniger individuell. Eine Ausnahme stellen die Angaben von SAKELLARIDES dar, der seine Nachuntersuchungen auf neurologischer Basis durchgeführt hat. Er stellte für jeden Nerv Wiederherstellungsgrade auf, wobei er die Motorik in 5 Stufen, die Sensorik in 4 Stufen einteilte. SEDDON hat im Prinzip die gleiche, nur etwas vereinfachte Einteilung der Resultate empfohlen, die heute allgemeine Gültigkeit hat. In dem später folgenden Kapitel über die Nachuntersuchungen an unserer Klinik wurde diese Einteilung verwendet und beschrieben. SAKELLARIDES hat auch als Einziger dieser Tabelle zwischen schweren und leichten Verletzungen unterschieden. Bei ihm liegen die Ergebnisse der Sekundärnähte etwas günstiger als die der Primärnähte. Und zwar hat er gefunden, daß Sekundärnähte am Medianus und Ulnaris bessere Ergebnisse gezeigt haben als Primärnähte, während am Radialis beide Gruppen gleich gut endeten. Von einer frühen Sekundärnaht ist bei ihm allerdings nichts zu lesen.

Zu Frage b.)

Wann muß bei einer geschlossenen Verletzung der Nerv exploriert werden, um mit einer Nervnaht noch einen Erfolg zu erzielen ?
Über den Zeitpunkt der Exploration von Nervverletzungen sind sich nicht alle Autoren einig. Die Frühexploration wird von mancher Seite abgelehnt mit der Begründung, daß sich angeblich im ersten Weltkrieg Nervverletzungen spontan erholt hatten. So soll z.B. FOERSTER (1929) auf diese konservative Weise von 2150 Fällen 60 % vollkommene Wiederherstellungen, 30 % Besserungen und nur 10 % Mißerfolge erzielt haben. Aus diesem Grunde wartet HANKE (1938) bei stumpfen Verletzungen 4 - 5 Monate mit der Exploration. Auch BERNTSEN (1944) wartet bis zu 6 Monaten; nach längerem Warten befürchtet er eine aufsteigende Entartung und Schädigung der Vorderhornzellen oder eine Atrophie derselben.

SUNDERLAND wartet bis zu 9 Monaten, während GUINSBOURG (1938) mindestens 1 bis 1 1/2 Jahre bis zur eventuellen Freilegung wartet. STAHL (1943) nimmt ebenfalls eine konservative Haltung ein, da er eine vollständige Degeneration des peripheren Stumpfes als wünschenswert erachtet und weil die Beurteilung des Nerven bei der Frühexploration schwierig sei.
SPURLING (1944) dagegen exploriert, wenn nicht eine rasche Erholung eintritt. Bei der Exploration nimmt er allerdings eine konservative Haltung ein. Er begnügt sich mit der Neurolyse, wenn nicht bei der Inspektion des Nerven eine vollständige Durchtrennung, oder eine, die Leitung unterbrechende, intraneurale Narbenbildung vorliegt. Wenn sich der Nerv dann trotzdem nicht erholt, exploriert er nach weiteren zwei Monaten nochmals, und wenn dann noch keine elektrischen Reize die Verletzungsstelle durchgehen, führt er die End-zu-End-Naht aus.
COLEMAN (1943) befürwortet ebenfalls eine Frühexploration und zwar geht er von der Überzeugung aus, daß die Exploration in geübter Hand ein harmloser Eingriff sei und die einzige Methode, um sich ein genaues Bild über den Zustand des verletzten Nerven zu machen.
Italienische Autoren, wie LEBEDENKO und DOGLIOTTI (1938) operieren bereits 8 - 10 Tage nach der Verletzung bei Bestehen einer Lähmung größeren Umfangs und Änderung der elektrischen Reaktionen. LEBEDENKO hat auch keine Bedenken, bei Bestehen der Wundinfektion einen Nerv zu explorieren, während SEDDON mindestens 6 Wochen nach Abklingen der Infektion wartet.

Bei dieser Verschiedenheit der Ansichten drängt sich die Frage auf: Wann soll man nun wirklich explorieren ? Eine heute allgemein gültige Antwort auf diese Frage gibt NIGST (1959):
Besteht keine Gewißheit über den Zustand des Nerven bei der ersten Wundversorgung, oder hat man es mit einer geschlossenen Verletzung zu tun, dann wartet man auf die ersten Zeichen der Regeneration, z.B. in dem Muskel, welcher planmäßig zuerst innerviert werden sollte. Ist zur erwarteten Zeit keine Erholung feststellbar, dann muß exploriert werden. Als Kriterium gilt hier eine Regeneration von 2,5 - 3 cm pro Monat (Regenerationszeit der Axonotmesis), sodaß der Zeitpunkt des Auftretens der Regeneration bei bekannter Höhe der Verletzung approximativ ausgerechnet werden kann. Die Prognose verschlechtert sich bei zu

langem Zuwarten, vorallem bei proximalen Verletzungen. Auch bei Nerv= läsionen, welche Schmerzen verursachen, sollte exploriert werden (JUNG 1941). Bei der Exploration schließlich ergeben sich neue Proble= me, die eher Sache der richtigen Beurteilung sind, als solche techni= scher Art. Vorallem handelt es sich darum, ob eine Resektion vorzu= nehmen ist oder nicht. Die Resektion ist erforderlich, wenn die Rege= neration nach Ablauf der Zeitspanne, in der sie zu erwarten war, nicht eingetroffen ist, und wenn bei der Operation die elektrische Reizung negativ ausfällt. Bei positiver Antwort wird die Frage der Resektion durch den Palpationsbefund entschieden. Bei proximalen Läsionen, bei welchen die Exploration ausgeführt wird, ist die elektrische Reizung nicht verwendbar, und man muß sich ganz auf die Inspektion u. die Pal= pation verlassen. In Grenzfällen sollte eher eine konservative Haltung eingenommen werden, da die Resultate nach der Naht nicht sehr erfolg= versprechend sind. Sollte die Naht jedoch unumgänglich sein, dann muß sie frühzeitig ausgeführt werden. Der Entschluß zur Naht muß aber schon anläßlich der Frühexploration fallen, da die Prognose sich bei Zuwarten weiter verschlechtert. Auf die Nachteile der späten Sekundärnaht gegen= über der frühen Sekundärnaht sei an dieser Stelle nochmals hingewiesen.

Die folgende Tabelle 3 wurde in England auf Grund der Kriegserfah= rungen zusammengestellt.

Tabelle 3
Kritische Zeitspanne zwischen Verletzung und Naht (in Monaten)

Höhe der Läsion:		Hoch	Mittel	Tief
Medianus	Motorisch	9	13	32
	Sensorisch	12	17	17
			36 Kind	36 Kind
Ulnaris		12	16	16
Radialis		13	16	16

Die Zahlen geben an, bis zu welchem Zeitpunkt man mit einiger Sicherheit noch eine Wiederherstellung erwarten darf.

2. Beeinflußt die Höhe der Verletzung das Ergebnis ?

Diese Frage darf man wohl gleich zu Anfang mit einem "Ja" beantworten, und darin sind sich auch nahezu alle Autoren einig. Nur LERICHE (1940) glaubt feststellen zu können, daß die Regeneration im proximalen Teil besser zu sein scheint, als im distalen. Eine Begründung für seine Annahme konnte er jedoch nicht geben. SEDDON hat in seiner Arbeit angeführt, daß in ungefähr 90 % der Medianus-Nähte am Oberarm und im proximalen Teil des Vorderarms nur eine mäßige Regeneration zu verzeichnen war, während bei distalen Läsionen in einem hohen Prozentsatz gute Erfolge erzielt wurden.

Die Gründe, daß proximale Läsionen im allgemeinen schlechtere Ergebnisse erwarten lassen, als distale, sind in der Tat augenfällig. Die Regenerationszeit ist bei hohen Verletzungen um Monate verlängert. Dies hat zur Folge, daß die atrophischen Erscheinungen viel weiter fortgeschritten sind, wenn die regenerierenden Axone am Erfolgsorgan angelangt sind. Zu diesem Zeitpunkt aber sind diese atrophischen Erscheinungen, die nicht nur den Muskel selbst, sondern auch die motorischen und sensiblen Endplatten betreffen (SEDDON), teilweise irreversibel und verhindern eine brauchbare Funktionsrückkehr.

Ein weiterer wichtiger Grund liegt in der Anatomie des Nerven selbst. Je höher die Verletzung, umso größer ist die Zahl der durchtrennten Nervbündel. Das hat zur Folge, daß die Möglichkeiten falscher Faserverbindungen nach der Nervnaht dementsprechend größer sind und zum Zweiten ist auch das klinische Bild der Lähmung ausgedehnter. Allerdings sind nicht alle drei Armnerven davon in gleich starker Weise betroffen. Beim Vergleich des anatomischen Verlaufes der drei Nerven mit ihren verschieden hohen Ramifikationen wird klar, daß die Verhältnisse beim Ulnaris am ungünstigsten sind. Bei einer Verletzung in Höhe des Ellenbogens besteht eine totale Lähmung aller vom Ulnaris versorgten Organe, sowohl also der motorischen als auch der sensorischen Anteile. Bei gleicher Verletzungshöhe des Medianus besteht zwar ebenfalls ein totaler Ausfall des sensiblen Versorgungsgebietes, jedoch entgeht der Muskulus pronator teres und möglicherweise auch die musculi flexor carpi ulnaris und longus der Lähmung.

Weitaus günstiger jedoch sind die Verhältnisse des Radialis bei derselben Verletzungshöhe. Hier bleibt der Triceps, der Brachioradialis, der Extensor carpi radialis, der Supinator und der Anconaeus unversehrt. Es kann sogar vorkommen, daß der Abgang der Äste zu den Fingerstreckern derart hoch liegt, daß auch diese nicht gelähmt sind. Auch der sensorische Ausfall ist hier nicht vollständig, da der Nervus cutaneus brachii dorsalis verschont bleibt. Ja es kann auch sein, daß überhaupt kein sensorischer Ausfall erfolgt, wegen des möglichen Bestehens von hohen Anastomosen mit dem Nervus musculocutaneus oder den ulnaren Hautnerven.

3 a.) Welcher der drei Armnerven läßt nach einer Nervnaht die günstigste Funktionswiederherstellung erwarten ?

Nach dem Obengesagten müßte der Nervus Radialis die größten Erfolgsschancen haben. Danach käme dann der Medianus und schließlich der Ulnaris. Und in der Tat zeigt die folgende Tabelle 4 von den Erfolgsvergleichen der drei peripheren Nerven untereinander, daß diese Reihenfolge mit den Angaben der meisten Autoren übereinstimmt.

Tabelle 4

Erfolgsvergleiche der drei großen Armnerven untereinander (Angabe in %)

Autor	Radialis	Medianus	Ulnaris
FOERSTER	72	69	57
GRANTHAM	78	62,5	58
LERICHE	55	40	20
SAKELLARIDES	75	55(M) 65(S)	55(M) 53(S)
EHALT	100(M)	80(M) 40(S)	33,3(M) 33,3(S)
HOEN	78	68	78
GUINSNBOURG	54	65	72
BJOERNESTEN	63,6(M)	67,6(M)	53,3(M)

(M) = Motorik
(S) = Sensorik

Nur HOEM und GUIMBOURG weichen in ihren Bewertungen von dieser Reihenfolge ab. Der anatomische Verlauf der drei Nerven ist jedoch nicht der einzige Grund für ihre unterschiedlichen Erfolgsaussichten. Es taucht hier nämlich die Frage auf:

b.) Regenerieren die motorischen oder die sensiblen Fasern besser ?

EHALT ist der Meinung, daß die Wiederherstellung der motorischen Funktion im Allgemeinen besser ist, als die der sensiblen. Die Sensibilität wird in den wenigsten Fällen wieder normal. Er kommt zu dem Schluß, daß die Prognose bei rein motorischen oder rein sensiblen Nerven besser ist, als bei gemischten Nerven. Die meisten Autoren stimmen mit EHALT überein, daß die Sensorik ein schlechteres Wiederherstellungsniveau erreicht als die Motorik (SEDDON, SAKELLARIDES), eine Erklärung dafür konnte jedoch nicht gegeben werden. Auch eine eindeutige Beurteilung des Regenerationsgrades der sensiblen Fasern ist durch individuell verschieden starke Anastomosenbildung benachbarter Nervanteile erschwert, bzw. nicht möglich. Irreversible degenerative Veränderungen der sensiblen Organe wären eine denkbare Erklärung. Ganz eindeutig allerdings ist die Erklärung, warum gemischte Nerven schlechtere Resultate nach einer End-zu-Endnaht zeitigen, als rein motorische, bzw. rein sensible. Es wurde im allgemeinen Teil schon darauf hingewiesen, daß die Funktionswiederherstellung um so schlechter ist, je ungeordneter die Faserverbindung an der Nahtlinie ist, d.h. je mehr auswachsende Axone des proximalen Stumpfes in unkorrespondierende Hüllen des peripheren Stumpfes gelangen. Bei einer falschen motorischen Faserverbindung ist, unter der Einschränkung, daß die Faser in eine ihrem Durchmesser entsprechende Hülle gelangt, eine Erregungsübertragung und ein Umlernen möglich. Bei motorisch-sensiblen Faserverbindungen jedoch, oder umgekehrt, kommt es zu keiner ausgereiften Regeneration. Wie bereits erwähnt, ist auch bei optimaler Adaption der Nervenden eine falsche Faserverbindung nicht zu vermeiden, die negative Auswirkung auf die Funktionswiederherstellung wird jedoch umso größer sein, je ausgeglichener das Mischungsverhältnis eines Nerven an motorischen und sensiblen Fasern ist. Das unausgeglichenste und somit für die Regeneration günstigste Mischungsverhältnis hat d Nervus Radialis. Auch darin dürfen wir also den Grund sehen, daß nach

Radialisnaht, besonders nach Naht seines hinteren interossealen Zweiges, günstigere Resultate zu erwarten sind, als nach Medinus- oder Ulnarisnaht.

c.) Spielt das Alter des Patienten eine Rolle bei der Nervregeneration ?

Diese Frage wird wiederum von den verschiedenen Autoren unterschiedlich beantwortet. So berichtet BJÖRKESTEN(1947), daß bei ihm das Alter des Patienten keinen Einfluß auf den Erfolg der Nervnaht hat. EHALT ist in diesem Punkt derselben Meinung. Dagegen konnte SAKELLARIDES feststellen, daß bei Jugendlichen zwischen 3 und 16 Jahren mehr positive Ergebnisse zu verzeichnen waren als bei älteren Patienten. Auch bei den Nachuntersuchungen an unserer Klinik wurde gefunden, daß die Erfolge bei Kindern durchwegs besser waren und daß es früher zu einer Funktionsrückkehr kam.

4.) Beeinflußt die Schwere der Verletzung das Ergebnis ?

Nur wenige Autoren (z.B. SAKELLARIDES) haben bei ihren Erfolgsaufzeichnungen den Schweregrad der Verletzung mit berücksichtigt. Man muß bei dieser Frage unterscheiden zwischen a.) der Schwere der Begleitverletzungen und b.) dem Ausmaß der Verletzung der Nerven selbst.

ad a.) Als Begleitverletzungen kommen Verletzungen sämtlicher benachbarter Gewebe und Gefäße in Frage. Ihre Bedeutung für die Regeneration des Nerven nach einer End-zu-Endnaht ist jedoch ganz verschieden. Die Weichteilwunde wird durch Narbenbildung den Nerv an seiner Nahtstelle alterieren und dies wird umso stärker der Fall sein, je ausgedehnter die Weichteilverletzung ist. Darum hat SEDDON als einen der Vorteile der frühen Sekundärnaht gegenüber der Primärnaht angegeben, daß man den Nerv nach der Naht in ein gesundes Bett legen kann. Vor allem bei Defektwunden kommt es häufig zu derart derben Vernarbungen, die mit dem Nerv verbacken sind und diesen so stark einengen, daß es überhaupt zu keiner Regeneration kommen kann. Vielmehr werden in diesem Narbenbereich noch Schäden am Nerven selbst verursacht, da durch den äußeren Druck der Nerv im Inneren ebenfalls mit Narbenbildung reagiert. Die Folge davon ist, daß bei einer eventuellen Revision dieser geschädigte Nervbereich (Neurinom) reseziert werden muß.

Ganz anderer Art ist der Einfluß auf die Funktionswiederherstellung, wenn größere Blutgefäße verletzt wurden. Dadurch wird der ohnehin schon gelähmte Muskel noch durch mangelnde Blutversorgung geschädigt und fällt so in noch stärkerem Ausmaß der Atrophie und Sklerosierung anheim. Das gleiche gilt natürlich auch für die Versorgung der sensiblen Organe und des Nerven selbst. Auch Sehnenverletzungen und Frakturen sind häufige Begleiterscheinungen. Ihr Einfluß auf die Regeneration des Nerven ist gerade im Zusammenhang mit Nervenverletzungen von entscheidender Wichtigkeit. NIGST hat in seinem Buch über die Chirurgie peripherer Nerven diesem Problem einen großen Raum gewidmet. Er konnte gerade in diesem Zusammenhang die Bedeutung der frühen Sekundärnaht aufzeigen.

In Gegenwart von Sehnenmitverletzungen ist es wohl am zweckmäßigsten, wenn man die Sehnen primär näht und die Nervenenden lediglich adapiert. Die Nachbehandlung von Sehnenverletzungen ist verschieden von der Nachbehandlung von Nervenverletzungen. Für die Sehnen gilt die frühestmögliche Mobilisation als höchstes Gebot (Immobilisation 3 Wochen). Frisch genähte Nerven müssen bis zu 6 Wochen immobilisiert werden, und dann erst dürfen in Entlastungsstellung fixierte Gelenke allmählich gestreckt werden. Wenn man Sehnen und Nerven gleichzeitig näht, riskiert man, daß entweder die Sehne adhärent wird, oder die Nervennaht reißt. Man geht im allgemeinen so vor, daß man die Sehnen primär näht und gleichzeitig die durchtrennten Nerven aneinander bringt. Nach drei Wochen beginnt man mit Bewegungsübungen, und sobald eine genügende Funktion der Sehnen erreicht ist, wird die frühe Sekundärnaht des durchtrennten Nerven vorgenommen. Die Sekundärnaht erfolgt in solchen Fällen meist erst 6 Wochen nach der Verletzung. GURDJAN und WEBSTER (1947) machen in jedem Fall die gleichzeitige Sehnen- und Nervennaht. Es gibt auch Autoren, welche die Nervenverletzungen zuerst versorgen und erst dann die durchtrennten Sehnen nähen, mit der Begründung, daß Sehnen erst bei wiedererlangter Sensibilität und bei guter Trophik funktionsfähig sind. Bei Kombination von Knochen- und Nervenverletzungen kann die Versorgung der Nervenverletzung noch vor Abheilung der Fraktur erfolgen, da die Ruhigstellung bis zur Heilung für beide Verletzungsarten zweckmäßig ist.

Schließlich taucht auch noch die Frage auf, ob sich die Wundinfektion nachteilig auf den Erfolg einer Nervennaht auswirkt. Früher wartete man

mindestens drei Monate nach Abheilung des Infektes mit der Versorgung der Nervverletzung. BJÖRKESTEN hält eine Wundinfektion für die später durchzuführende Sekundärnaht für ungefährlich. Er gibt an, bei 24 Infektionsfällen nur drei Mißerfolge gehabt zu haben. EHALT hingegen glaubt, daß eine Infektion das Endergebnis einer Nervnaht verschlechtert. Eine länger andauernde Infektion führe zu ausgedehnten Gewebsnekrosen und damit zu ausgedehnten Narbenbildungen. Heute, im Zeitalter der Antibiotika und der Chemotherapie ist diese Gefahr weitgehend gebannt.

ad b.) Die Verletzungen des Nerven selbst, ob es sich um eine glatte Durchtrennung, um einen größeren Defekt, oder um eine Ruptur des Nerven handelt, ist mit Sicherheit für das Ergebnis der Nervnaht entscheidend. Bei einer scharfen Nervdurchtrennung ist es keine Schwierigkeit, eine spannungsfreie Naht zu legen, während man z.B. bei der Resektion eines Neuroms oder bei Nervrupturen, wo die Nervenden sehr weit reseziert werden müssen, immer vor der Schwierigkeit der Überbrückung des Defektes steht. SAKELLARIDES hat festgestellt, daß größere Defekte der Nervenden die Erfolgsaussichten verschlechtern.

Kleinere Defekte können meist durch entsprechende Lagerung der Gelenke überbrückt werden. Sobald der Defekt jedoch ein gewisses Ausmaß erreicht hat, ist die Mobilisierung des Nerven notwendig, um eine spannungslose Naht zu erreichen. Genügt dies zur Ausgleichung des Defekts noch nicht, dann kann man zur Verlagerung des Nerven greifen, durch welche wiederum ein gewisses Stück Nervlänge gewonnen wird. SEDDON hat eine Tabelle zusammengestellt, welche die sogenannte kritische Resektionslänge eines Nerven angibt, bei deren Überschreitung der Erfolg einer direkten Naht zumindest fraglich sein wird.

Tabelle 5
Kritische Resektionslänge in cm

Höhe der Läsion	Hoch	Mittel	Tief
Medianus	7	9	7,5
Ulnaris	10	13	10
Radialis	8	8	7,5

Die Tabelle 5 zeigt, daß die kritische Resektionslänge mit der Höhe der Läsion variiert (HIGHET und SANDERS 1943). Wenn nämlich die Verletzung in der Mittezwischen zwei fixen Punkten erfolgt, dann ist die Wirkung der postoperativen Dehnung gleichmäßiger verteilt und weniger schädlich, als wenn die Läsion nahe an einem fixen Punkt (zum Beispiel am Handgelenk) geschieht. Wenn ein Nervendefekt die kritische Reaktionslänge überschreitet, dann kommt das Nerventransplantat als Überbrückungsverfahren in Frage. Es würde zu weit führen, hier im einzelnen auf die Problematik der Nervtransplantation einzugehen. Wichtig ist es, zu wissen, daß konservierte Nervtransplantate Hetero- und Homotransplantate beim Menschen bis heute erfolglos geblieben sind. Nur die Autotransplantate sind bei Menschen erfolgreich. Neue Fasern wachsen durch diese Transplantate fast ebenso schnell, wie durch den peripheren Stumpf des durchtrennten Nerv (Weiss 1935). Wichtig ist, daß das Transplantat den gleichen, oder einen etwas größeren Durchmesser besitzt als der Nerv, dessen Lücke zu überbrücken ist. Das Transplantat muß auch etwas länger als der Defekt sein, da es immer zu Schrumpfungen des Ersteren kommt. Als Spendernerven kommen folgende Nerven in Betracht:

Intercostalnerven
N. suralis
N. cutaneus femoris lat.
N. saphenus
N. cutaneus antebrachii uln.
N. cutaneus antebrachii rad.

5.) Kann durch intensive Nachbehandlung die Regeneration beschleunigt bzw. das Resultat verbessert werden ?

In der Literatur finden wir darüber recht einheitliche Ansichten. So legt JÄGER besonders großen Wert auf eine intensive Nachbehandlung: Täglich eine halbe Stunde Heißluft, Massage, passive Bewegungen der Gelenke und eventuell orthopädische Maßnahmen, wie zum Beispiel eine Radialisschiene. Diese Nachbehandlung müsse sich gegebenenfalls auf Jahre erstrecken. FISCHER (1939) gibt in der Dauer der Heilung Vitamin B_1 (z.B. 1mg Aneurin tägl.), um eine schnellere Regeneration des Nerven zu erreichen. ZEUMER (1961) legt besonderen Wert auf eine sinnvolle Nachbehandlung: Gipsverband auf mindestens drei Wochen, während dieser Zeit unterschwellige Tonisierungsübungen, danach täglich elektrische Reizung, sowie aktive und passive Übungen. Für die übungsfreie Zeit empfiehlt er das Tragen von orthopädischen Schienen (auch nachts !).

Das Ziel der Nachbehandlung ist es, die gelähmten Muskeln vor Überdehnung zu schützen, Kontrakturen zu vermeiden und der Muskelatrophie vorzubeugen. Ferner soll die normale Beweglichkeit der Gelenke erhalten bleiben, zugleich jedoch die Ausführung von Massen- und Trickbewegungen verhindert werden. Kurz gesagt verfolgt die Nachbehandlung den Zweck, die Extremität für die Rückkehr der Nervleitung funktionstüchtig zu erhalten.

Die Reinnervationszeit teilt man in 3 Stadien ein:
1. Überbrückung der Verletzungsstelle (3 oder mehr Wochen)
2. Regeneration bis zu den Endorganen (durchschnittl. 3 bis 4 mm pro die)
3. Wiederkehr der Funktion (verschieden: kann Monate dauern)
Die Nachbehandlung wirkt sich in erster Linie auf das dritte Stadium der Reinnervation aus. Die Wiederkehr der Funktion wird durch eine kunstgerechte Nachbehandlung wesentlich beschleunigt und es liegt auf der Hand, daß das Resultat ein besseres sein wird, wenn keine Kontrakturen und keine irreversiblen Muskelatrophien vorliegen.

Da die Nachbehandlung neben einer ausgezeichneten Nahttechnik den wichtigsten Punkt bei der Behandlung peripherer Nervverletzungen darstellt, soll an dieser Stelle der Ablauf einer kunstgerechten Nachbehandlung aufgezeichnet werden:

Wenn die Nervnaht erfolgt ist, wird die Extremität bis zur Wundheilung zwei bis drei Wochen in Gips ruhiggestellt. Ist zur Apposition der Nervenenden eine Entlastungsstellung notwendig, dann muß die Extremität nach Ablauf der vollständigen Ruhigstellungsperiode allmählich gestreckt werden.

SEDDON empfiehlt eine Streckung von 10-12 Grad pro Woche. Die Streckung ist in 6 - 8 Wochen erreicht. Nach dieser Zeit kann mit der physikalischen Therapie begonnen werden. Die Maßnahmen, welche hier zur Verfügung stehen, sind: Wärme, Massage, passive und aktive Bewegungen, sowie die Wiedererziehung. Diese physikalische Therapie ist ein wichtiger Faktor in der Nachbehandlung von Verletzungen peripherer Nerven. Sie bezweckt die Verbesserung der Blutzirkulation im denervierten Bezirk, die Erhaltung des Tonus in partiell gelähmten Muskeln und gleichzeitig die Vermeidung der Tonussteigerung in den Antagonisten, um Kontraktionen zu verhindern, die normale Gelenkmotilität zu erhalten und Massenbewegungen durch bewußte motorische Koordination auszuschalten.

Die Thermotherapie kann in Form von Bestrahlung oder feuchter Wärme appliziert werden. Am besten ist wahrscheinlich die Immersion in ein beständig gewebtes, thermoreguliertes Bad. Einige Autoren lehnen sie ab. Jedenfalls darf sie nur sehr behutsam durchgeführt werden. Der Zweck aktiver und passiver Übungen liegt auf der Hand.

Experimente an der Katze (SHERMANN 1948) zeigten, daß Kontrakturen nach Ischiadicusdurchtrennung häufiger bei immobilisierten Tieren als bei solchen mit freier Extremität auftraten. An der normalen Extremität entwickeln sich keine Kontrakturen, auch wenn die Immobilisierung bis zu 90 Tagen dauert. Sie bildet sich jedoch, wenn die Muskulatur denerviert und in gekürzter Stellung 45 - 105 Tage fixiert bleibt. Passive Bewegungen und Massage verringern ihren Schweregrad und ihre Häufigkeit.

Umstritten ist die Wirksamkeit der Elektrotherapie. Untersuchungen zeigten jedoch eindeutig, daß die Elektrotherapie nützlich ist. SHERMANN (1948) konnte im Tierexperiment zeigen, daß das Auftreten von Kontrakturen bei Kombination von Elektrotherapie mit Massage und passiver Bewegung häufiger verhindert wird, als durch Verwendung letzerer Maßnahmen allein. THOMSON und LACARE (1943) fanden, daß elektrische Stimulation die Rückkehr des Muskelgewichtes und der Muskelkraft beschleu-

nigte und das Auftreten der Atrophie verzögerte. Sie bewiesen ferner, daß eine direkte Beziehung zur Intensität und Wirksamkeit des Reizes bestand und daß der Effekt der Behandlung am größten war unmittelbar nach der Denervation und mit zunehmender Dauer der Denervation abnahm. GUTMANN und GUTTMANN (1942 und 1944) fanden, daß mit adäquater Elektronentherapie die Muskelfasern groß blieben und die Fibrose geringer war. JACKSON (1945) zeigt in Vergleichsserien bei Menschen, daß 90 tägliche Reize die Muskelatrophie verhinderten, außer in den der Denervation unmittelbar folgenden Wochen. Die Reize waren stark genug, um eine rasche Kontraktion zu bewirken. Es wurden 30 Reize pro Minute gegeben, mit einer Pause von einer Minute zwischen jeder Gruppe von 30 Reizen. Das Muskelvolumen kann durch diese Therapie jedoch nicht vergrößert werden. Es ist deshalb zweckmässig, die Behandlung sobald wie möglich einzuleiten, da ein Verlust an Muskelvolumen nicht wieder gewonnen werden kann. Die Behandlung sollte fortgesetzt werden, bis die aktive Bewegung zurückgekehrt ist.

6.) Welche Operationstechnik verspricht die besten Ergebnisse ?

Alle Autoren sind sich darüber einig, daß von der Operationstechnik das Schicksal der Nervennaht in entscheidender Weise abhängig ist. So ist es auch nicht verwunderlich, daß immer wieder neue Ideen und Variationen veröffentlicht werden, über deren Bedeutung man jedoch geteilte Meinungen findet. Soll in Allgemeinnarkose oder in Lokalanästhesie, soll in Blutleere oder ohne Blutleere operiert werden ? Welches Nahtmaterial, welche Resektionsinstrumente, welche Nahttechnik soll angewandt werden ? Kann durch die Millipore-Umscheidung (BÖHLER) die Einwucherung von Bindegewebe in die Nahtstelle vermieden werden ?

Ein bis heute allgemeingültiges Vorgehen bei Nervnähten wird von NIGST (1955) aufgezeigt. Er empfiehlt die Allgemeinnarkose, da hier der Schnitt jederzeit verlängert werden und auch in Blutleere opperiert werden kann. Die Schnittführung soll etwa dem Verlauf des Nerven entsprechen. Ist nach Freilegung des Nerven eine Resektion erforderlich, geht man in der Regel folgendermaßen vor: Als erstes wird proximal und distal von der zu resezierenden Stelle ein epineuraler Markierungsfaden gelegt, der die Orientierung erleichtert. Die Resektion des Nerven

erfolgt mit einer Rasierklinge, die mit einer Gefäßklemme gehalten wird, und zwar wird zunächst distal und proximal hin der Nerv scheibenweise eingeschnitten, bis ein gesunder Nervenquerschnitt ersichtlich ist (Lupenbrille). An dieser Stelle erfolgt die vollständige Durchtrennung mit einem senkrecht zur Achse verlaufenden glatten Schnitt. Der Nerv wird bei der Resektion mit zwei Pinzetten fixiert. Die Strecke des Defektes sollte nach der Resektion gemessen und notiert werden, da sie entscheidend für das weitere Vorgehen ist (Mobilisierung, Entlastungsstellung der Gelenke, Nervenverlagerung, Transplantat). Nach der Resektion erfolgt nun die sogenannte End-zu-End-Naht. Zuerst wird an beiden Seiten jedes Stumpfes je ein Haltefaden gelegt. Durch Überkreuzung dieser Haltefäden werden die Stümpfe adaptiert, sodaß jetzt die eigentliche Nervennaht ohne Spannung als Einzelknopfnaht erfolgen kann. Nach Naht der Vorderseite muß die Hinterfläche des Nerven dargestellt werden. Das eine Paar der seitlichen Haltefäden wird dabei unter dem Nerv durchgezogen, während das andere Paar über die Vorderfläche des Nerven hinweg auf die andere Seite gelegt wird. Nun liegt die Hinterfläche des Nerven frei und kann ebenso mit epineuralen Knopfnähten versorgt werden.

Als Nahtmaterial empfiehlt EDSHAGE (1964) auf Grund umfangreicher Untersuchungen rostfreien Stahldraht. Die Gewebsreaktionen, die durch Seide ausgelöst werden, lassen dieses Material als nicht günstig erscheinen, während die heftigen Reaktionen, die durch Catgut verursacht werden, eine absolute Kontraindikation dieser Materialien bei der Nervennaht darstellen. Ferner hat EDSHAGE als erster auf die ungenügende intraneurale Topographie nach der Nervennaht hingewiesen: "Es ist auffallend, daß in den meisten Veröffentlichungen von chirurgischen Techniken bei peripheren Nervennähten zwar eine exakte Apposition der Nervenenden gefordert wird, daß man aber nirgendwo in der Literatur Berichte über den Grad der Apposition findet, der nach epineuraler Naht am peripheren Nerven beim Menschen erreicht wurde. Alle Autoren, die dieses Problem diskutieren, scheinen zu glauben, daß ein befriedigendes äußeres Erscheinungsbild eine Garantie für eine exakte Apposition der Nervenschnittflächen darstellt." EDSHAGE konnte durch die Konstruktion eines Nervenhalters die Schnittflächen wesentlich verbessern und damit eine gute intraneurale Topographie nach Nervennaht erreichen. Diesen Untersuchungen von EDSHAGE kommt eine besondere Bedeutung zu, zeigen sie doch neue Wege und Möglichkeiten auf, durch Verfeinerung der Operationstechnik die bisherigen Ergebnisse entscheidend zu verbessern.

KAPITAL B

Eigene Untersuchungen an unserer Klinik

1.) Ergebnisse nach Naht peripherer Nerven an der oberen Extremität

An der chirurgischen Universitätsklinik in Erlangen wurden in der Zeit von 1956 - 1964 insgesamt 64 Nervendurchtrennungen an der oberen Extremität operativ versorgt. Davon konnten 43 nachuntersucht werden. Die Naht war 21 mal primär und 20 mal sekundär erfolgt. Frühe Sekundärnahte innerhalb der ersten 4-6 Wochen nach der Nervendurchtrennung führten wir nur 2 mal durch. In 28 Fällen bestanden ausgedehnte Begleitverletzungen von Knochen, Sehnen und Gelenken. 4 mal mußte wegen der Größe des Nervendefektes eine Verlagerung des Nerven vorgenommen werden.

Tabelle 6

Anzahl der operierten Fälle	64
Anzahl der nachuntersuchten Fälle	43
Primärnähte	21
Frühe Sekundärnähte	2
Sekundärnähte	20
mit Verlagerung	4
mit ausgedehnten Begleitverletzungen	28

Es handelt sich insgesamt um Durchtrennungen des N.radialis in 3 Fällen des N.medianus in 20 Fällen und des N.ulnaris in 20 Fällen.

Bei der Nachuntersuchung d.Patienten wurde die wiedergekehrte Motilität nach den Empfehlungen des British Medical Research Counsil beurteilt. Dabei wurde M 0 und M1 für schlecht, M 2 für mäßig, M 3 für gut und M 4 und M 5 für sehr gut befunden.

Tabelle 7

Prüfung der MOTILITÄT (nach British Medical Research Council)

M0 M1	Völlige Lähmung Spur Kontraktion	schlecht
M2	Aktive Bewegung bei Ausschaltung des Schwergewichtes	mäßig
M3	Aktive Bewegung gegen das Schwergewicht	gut
M4	Aktive Bewegung gegen das Schwergewicht und Widerstand	sehr gut
M5	Normale Muskelfunktion	

Die Prüfung der Sensibilität erfolgte mit verschiedenen Methoden. Als orientierende Prüfung in der Praxis sind die Unterscheidungen von Sandpapier verschiedener Körnung oder Spulen mit verschieden starken Drähten bei geschlossenen Augen immer noch brauchbar. Funktionell von größerer Aussagekraft sind der SEDDON`sche Münzentest, der "picking-up-test" nach MOBERG, und der WEBER`sche Tastzirkelversuch zur Zwei=punkteunterscheidung. Bei all diesen Methoden ist man jedoch stets auf die Mitarbeit der Patienten angewiesen, was gerade für die Renten=begutachtung von großer Bedeutung ist. Eine objektive Untersuchungs=methode ist uns lediglich mit dem Ninhydrintest gegeben. Nach Anwendung dieser Verfahren haben wir die wiedergekehrte Sensibilität den NIGST`schen Vorschlägen entsprechend eingeteilt. S 0 und S 1 wurde als schlecht, S 2 als mäßig, S 3 als gut, S 4 und S 5 als sehr gut bewertet. Das Er=gebnis des Nihydrintestes wurde als negativ, schwach oder positiv ge=wertet.

Tabelle 8

Prüfung der SENSIBILITÄT (nach NIGST)

S0	Keine Sensibilität im autonomen Gebiet	schlecht
S1	Wiedererlangung der tiefen Schmerz=empfindung im autonomen Gebiet	
S2	Wiedererlangung eines gewissen Grades von Berührungs= und oberflächlicher Schmerz=empfindung im autonomen Gebiet	mäßig
S3	Wiedererlangung der cutanen Schmerz= und Berührungsempfindung im ganzen aut. Geb.	gut
S4	Wie für S3 mit zusätzlicher Wiederkehr der Zweipunktedifferenzierung	sehr gut
S5	Völlige Normalisierung der Sensibilität	

Bei den Medianus-Durchtrennungen handelte es sich in allen Fällen um Verletzungen vom Ellenbogengelenk an abwärts. Das motorische Ergebnis war dabei eindeutig besser als das sensible.

Tabelle 9

Ergebnisse nach Naht von 20 Medianusdurchtrennungen

	Fälle	M0	M1	M2	M3	M4	M5	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Oberarm													
Unterarm	2		1			1				1	1		
	2					2					2		
Handgelenk	4		1			1	2		1	3			
Handbereich	12		1		2	1	4		2	1	3	5	1
Gesamt	20		3		2	5	6		3	5	6	5	1

Gleiches ließ sich nach Naht von Ulnaris-Verletzungen feststellen, wobei das Gesamtergebnis schlechter war, als bei den Medianus-Nähten.

Tabelle 10

Ergebnisse nach Naht von 20 Ulnarisdurchtrennungen

	Fälle	M0	M1	M2	M3	M4	M5	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Oberarm													
	1		1							1			
Unterarm	3		2			1			1	2			
	6			1	2	3				2	3	1	
Handgelenk	5				1	4				2	2	1	
Handbereich	5		1		2				1	3			1
Gesamt	20		4	1	5	8			2	10	5	2	1

Die Wiederherstellung des N.radialis zeigte stets ein gutes Resultat, wobei uns natürlich klar ist, daß die geringe Zahl der Fälle hier keinen statistischen Aussagewert besitzt.

Tabelle 11

Ergebnisse nach Naht von 3 Radialisdurchtrennungen

	Fälle	Mo	M1	M2	M3	M4	M5	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Oberarm	2				1	1				1	1		
Unterarm	1					1					1		
Handgelnek													
Handbereich													
Gesamt	3				1	2				1	2		

Vergleicht man das Durchschnittsergebnis der sekundären Nervnähte, so lagen bei uns Letztere gering besser, als das Ergebnis der Primär= versorgungen.

Tabelle 12

Durchschnittsergebnis bei 43 Nervennähten an der oberen Extremität	M	3,3
	S	2,7
Primärnähte	M	3,21
	S	2,66
Sekundärnähte	M	3,39
	S	2,74

Die wiedergekehrte Sensibilität entsprach in beiden Sparten nie dem erreichten motorischen Endresultat.

Bei diesen Nachuntersuchungen fiel weiter auf, daß die Wiederkehr der Funktion oft wesentlich längere Zeit in Anspruch nimmt, als zu erwarten ist. So konnte in einigen Fällen eine kontinuierliche Besserung des Be= fundes über 3 Jahre hinweg beobachtet werden. Andererseits sind aber auch 2 Fälle zu erwähnen, bei denen man geneigt ist, von einer per-primam Heilung zu sprechen, wie sie auch schon andere Autoren beschrieben haben. Dabei erfüllt uns dieselbe Skepsis, mit der NIGST und andere sogenannten Früherfolgen gegenüberstehen. Beide Male handelte es sich um Sekundär= nähte. In dem einen Fall war einem 50 jährigen Landwirt bei einer Ge= schwulstentfernung an der Beugeseite des Handgelenkes der Medianus quer durchtrennt worden. Der Patient kam 1 Jahr später mit einem völligen

Sensibilitätsausfall im Medianusbereich der Hand bei uns zur Aufnahme. Der Ninhydrintest war negativ, die operative Revision ergab eine völlige Kontinuitätsunterbrechung des Medianus mit weiter Distraktion der neuromartig verdickten Nervenstümpfe. Vier Tage nach Resektion der kolbigen Auftreibungen und Nahtvereinigung des Nerven wurde bereits eine Wiederkehr der Sensibilität angegeben, die sich im Verlauf von 7 Monaten kontinuierlich bis zu einem Endresultat im Sinne von S 3 verbesserte.

Bei dem zweiten, eindrucksvolleren Fall hatte sich ein 41 jähriger Schreiner eine Bohrmaschinenverletzung an der Beugeseite des linken Oberarmes zugezogen. Dabei war der Nervus Ulnaris durchtrennt worden und zeigte einen Substanzverlust von 1,5 cm. Nach primärer Nervennaht und Wundversorgung gab der Patient bereits einen Tag später eine Berührungsempfindung im Ulnarisgebiet an und konnte die Finger wieder gering an- und abduzieren. Das Ergebnis verschlechterte sich jedoch im Laufe von 3 Monaten zusehens. Eine erneute Revision ergab eine Neurombildung von 3 cm Länge. Nach Resektion, Verlagerung und Naht des Ulnaris gab der Patient am Abend des Operationstages an, er habe wieder ein völlig normales Gefühl wie früher. Der Ninhydrintest war schwach positiv. 3 Wochen nach Entlassung des Patienten suchte dieser wieder unsere Klinik auf und gab an, er habe plötzlich einen Riß im Bereich der Operationswunde verspürt und habe jetzt keinerlei Gefühl mehr im Bereich des 4. und 5. Fingers. Der Arm war zu diesem Zeitpunkt noch in einer Oberarmgipslonguette ruhiggestellt. Eine erneute Revision ergab jetzt wiederum ein ausgedehntes Neurom, das jedoch wegen der bereits erreichten kritischen Resektionslänge des Nerven und der bereits öfters beobachteten wiederkehrenden Besserung belassen wurde. Heute, eineinhalb Jahre nach der Erstverletzung ist der Ninhydrintest positiv, das funktionelle Ergebnis entspricht M 2 und M 3.

Betrachtet man zusammenfassend die Ergebnisse unserer Nervennähte, so zeigt sich, daß motorisch in etwa 75 % aller Fälle ein brauchbares funktionelles Resultat erreicht wurde. Die Sensibilität kehrte dagegen außer bei Fingernervennähten nie zur Norm zurück und erreichte nur in etwa 50 % der Fälle die für den Arbeitseinsatz der Hand notwendige Stufe S 4.

Tabelle 13

Ergebnisse nach 43 Nervennähten an der oberen Extremität

	MOTORIK				SENSIBILITÄT			
	schlecht	mässig	gut	sehr gut	schlecht	mässig	gut	sehr gu
N.medianus	19 %	0 %	12 %	69 %	15 %	25 %	30 %	30 %
N.radialis	0 %	0 %	33 %	67 %	0 %	33 %	67 %	0 %
N.Ulnaris	22 %	6 %	28 %	44 %	10 %	50 %	25 %	15 %

2. Ergebnisse nach Neurolyse und Nervvenverlagerungen der ob.Extremität

An unserer Klinik wurden in der Zeit von 1956 bis 1964 insgesamt 27 Neurolysen und Nervenverlagerungn durchgeführt. Davon kamen 15 Ulnaris= und eine Radialisverlagerungen zur Nachuntersuchung.

Tabelle 14

Ergebniss nach 15 Ulnarisverlagerungen und einer Radialisverlagerung

	Fälle	M0	M1	M2	M3	M4	M5	S0	S1	S2	S3	S4	S5
N. ulnaris	15			2	5	5	3			2	4	1	8
N. radialis	1			1							1		

Die Nachuntersuchung wurde nach den gleichen Richtlinien durchgeführt wi= bei den Nervennähten.

Im Durchschnitt wurden in 77 % der Fälle ein brauchbares motorisches Resultat erreicht. Die Sensibilität kehrte dagegen hier in 86 % der Fälle nahezu zur Norm zurück.

Tabelle 15

Durchschnittsergebnisse nach 16 Verlagerungen

Motorik	3,50
Sensorik	3,93

Im Vergleich zu den Durchschnittsergebnissen der 43 Nervennähte von Ta= belle 12 kann man also den interessanten Schluß ziehen, daß die Wieder= kehr der Motorik bei den Nervenverlagerungen nur um weniges besser liegt,

während sich die für den vollen Arbeitseinsatz so wichtige Sensibilität hier jedoch ganz beträchtlich verbesserte. Eine statistische Aussagekraft besitzen diese Erfolgsangaben von Nervenverlagerungen beziehungsweise Neurolysen jedoch nicht, da ihr Erfolg ja von dem Grad der Nervenschädigung abhängig ist und in der Regel keine vollständige Lähmung vorliegt, wenn auch das klinische Bild dem einer Nervendurchtrennung entspricht. Die Neurolyse ist ein Eingriff mit präziser Indikation und kann nur dann zum Erfolg führen, wenn keine irreversiblen intraneuralen Schädigungen vorliegen. Darum sind die Resultate der Neurolysen in der Literatur auch schwer statistisch zu erfassen. Ein Teilerfolg ist nur dann zu erwarten, wenn neben irreversiblen auch reversible Veränderungen vorhanden sind. Ob der Teilerfolg von praktischem Nutzen sein wird, hängt von dem Verhältnis dieser beiden Komponenten ab. Erfolglose Neurolyse ist meist gleichbedeutend mit falscher Indikationsstellung. In solchen Fällen wäre Resektion und Naht indiziert gewesen. Wenn nach einer Neurolyse eine vorübergehende Besserung eingetreten ist, dann haben neue Adhäsionen zur erneuten Verschlechterung geführt. Hier sind Versuche im Gang, durch postoperative Cortison-Medikation das Auftreten von Verwachsungen zumindest weitgehend einzudämmen.

Während nach einer Nervennaht eine Restitutio ad integrum kaum beobachtet werden konnte, liegt diese bei Neurolysen und Nervenverlangerungen absolut im Bereich des Möglichen. Von den 15 nachuntersuchten Ulnarisverlagerungen konnten 3 völlige Wiederherstellungen verzeichnet werden.

3.) Zusammenfassende Betrachtungen und Bemühungen zur Verbesserung der bisherigen Ergebnisse.

Vergleicht man unsere Ergebnisse mit denen in der Literatur, so stellt man fest, daß sie etwa auf dem gleichen Niveau liegen. Doch wenn wir auch gute Erfolge erzielt haben, so ist die Zahl der mäßigen Wiederherstellungen nach Bahandlung unter guten Voraussetzungen groß genug, um beachtet zu werden. Das ist für uns Grund genug, mit den gegenwärtigen Behandlungsmethoden peripherer Nervenverletzungen eine selbstzufriedene Haltung auszuschliessen und die Suche nach besseren Methoden anzuregen, sowohl operativ als auch konservativ.

Wo liegt aber nun die Ursache dafür, daß die eine Nervennaht ein gutes Ergebnis zeitigt, die andere ein schlechtes, wenn man etwa gleiche Startbe-

dingungen vergleicht, das heißt, gleicher Ausgangsbefund in punkto Alter und Geschlecht des Patienten, Verletzungsmodus, Höhe der Durchtrennung, Ausdehnung der Verletzung usw.

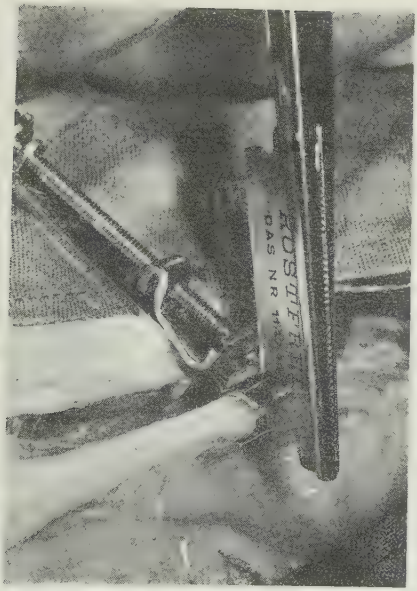
Hier drängt sich zuerst der Verdacht auf, daß die Ergebnisse je nach Technik des Operateurs variieren, ob die Naht im offiziellen Op.-Programm oder im Nachtdienst erfolgte, ob ambulant oder nach stationärer Vorbereitung und Planung, ob in Lokal=, Leitungs= oder Allgemeinanasthesie, ob mit oder ohne Blutleere, ob "in der Wunde" oder nach breiter Freilegung des Nerven die Naht erfolgte, ob die Nervenstümpfe genügend weit reseziert wurden und in welcher Weise die Resektion erfolgte. Auf alle diese Punkte wurde bereits hingewiesen und es wurde betont, daß die Ergebnisse eine spezialisierten Operateurs immer besser sein werden, als die einer Klinik mit vielen Operateuren.

Geht man von "idealen" Voraussetzungen aus, so werden 3 Momente für das Ergebnis entscheidend sein: Die intraneurale Narbenneurombildung, die möglichst genaue Adaptation der Nervenkabel und drittens das Ausmaß der Einwucherung von Bindegewebe aus der Umgebung in die Anastomose bei der Wundheilung.

Auf ersteres weist MOBERG immer wieder hin: bei der Primärnaht werden vom Ort der Durchtrennung entfernter liegende intraneurale Schäden nicht ertastet; die Resektion erfolgt daher nicht in genügend weiter Ausdehnung und die Folge ist eine Neurombildung, durch welche das Auswachsen der Axone blockiert wird. Drei bis vier Wochen nach der Durchtrennung der Nerven kann man jedoch die Ausdehnung der Verletzung genau beurteilen und eben darin liegt einer der entscheidensten Vorteile der frühen Sekundärnaht (SEDDON).

Auf den zweiten Punkt hat besonders EDSHAGE hingewiesen. Eine genaue Adaptation korrespondierender Nervenkabel ist verständlicher Weise nur dann möglich, wenn bei der Resektion eine glatte Schnittfläche erzielt werden kann. Es hat sich gezeigt, daß mit der üblichen Resektionsmethode mit einer Rasierklinge und Fixation des Nervenstumpfes mittels zweier Pinzetten die einzelnen Kabelenden nicht in einer Ebene liegen, sondern daß sie erhebliche Höhendifferenzen aufweisen (bis zu 0,7 mm) und daß diese Schnittfläche auch nicht senkrecht zur Längsachse des Nerven verläuft, sondern bis zu 15° davon abweicht. Ein genügender Endkontakt beider Nervenstümpfe nach erfolgter Naht und damit ein unbefriedigendes Ergebnis müssen die

Folge sein. GELDMACHER (1965) hat einen neuen Nervenhalter entwickelt, der es ermöglicht, eine ideale Schnittfläche zu erreichen, d.h. eine Resektionsfläche, bei der alle Kabel genau in einer Ebene liegen und diese Ebene steht auf der Längsachse des Nerven genau senkrecht. GELDMACHER verwendete als Grundgerüst seines Nervenhalters einen Matritzenspanner aus der Zahnheilkunde, den er für diesen Zweck modifizierte. Das Gerät hat eine Länge von etwa 7 cm. Es setzt sich zusammen aus dem Arbeitsende einer Fixations- und einer Spannschraube. Das Arbeitsende besteht aus einem halbrunden Stahlblech, in dem zwei zueinander senkrecht stehende Führungsschlitze eingearbeitet sind. Der Nerv wird mit einer Plastikfolie (Länge 10 cm, Breite 0,5 cm) umschlungen und deren beide Enden werden durch den horizontalen Schlitz geführt und mit der Fixationsschraube fixiert. Nun wird durch Betätigung der Spannschraube der Nerv auf das Arbeitsende gespannt. Der vertikale Schlitz dient nun einer Rasierklinge als Führung bei der Resektion, die mit einem einzigen Schnitt erfolgen soll, d.h. ohne sägende Bewegungen. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen den neuen Nervenhalter.



Dem dritten Problem suchte BASSET, CAMPBELL und HUSBY aus den USA mit der Milliporeumscheidung zu begegnen, die BÖHLER und ZRUBECKY im deutschsprachigen Raum bekannt gemacht haben. Das Einwachsen von Bindegewebe aus der Umgebung in die Nahtstelle soll dadurch vermieden werden. Millipore ist ein Zellulose-Azetat-Filter mit einer variierenden Dicke von 0,08 - 0,25 mm, dessen Volumen zu 80 % aus Poren zusammengesetzt ist. Die Poren gestatten die freie extrazelluläre Flüssigkeitsdiffusion. Die Nahtstelle wird zigarettenpapierartig mit Millipore umhüllt und der Kunststofftubulus mit zirkulären Nahtschlingen fixiert. Nach 2 - 5 Monaten wird das Kunststoffröhrchen wieder entfernt. Es konnte festgestellt werden, dass bei Milliporeumscheidungen nach Fingernervennaht die Regenerationszeit auf die Hälfte verkürzt wurde, bei grösseren Nerven jedoch kein signifikanter Unterschied bestand. Unsere Milliporeumscheidungen sind an Zahl noch zu gering und die Beobachtungszeit noch zu kurz, um Endgültiges sagen zu können. Nach unseren bisherigen Erfahrungen lässt sich aber sagen, dass Millipore sofort nach Aufhebung der Immobilisation entfernt werden sollte, nicht erst nach 2 - 5 Monaten. Die Nahtstelle ist zu diesem Zeitpunkt bereits komplett von den auswachsenden Axonen überbrückt und ist durch "einwachsendes Bindegewebe" nicht mehr gefährdet. Bei Wiederaufnahme der Bewegung entsteht aber bei belassenem Millipore eine erhebliche Fremdkörperreaktion der Umgebung, die zu nerveneinengender Narbenbildung führt.

Wir glauben jedoch, dass durch unsere Bemühungen die Ergebnisse nach Nervenverletzungen an unserer Klinik noch weiter verbessert werden können.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Im Allgemeinen Teil dieser Arbeit wurden die wichtigsten theoretischen Grundlagen kurz rekapituliert, die für das Verständnis der Problematik der Nervenverletzungen Voraussetzung sind.

Im Speziellen Teil wurden in Kapitel A die entscheidenden Fragen bei der Behandlung von Nervenverletzungen aus der Fülle der einschlägigen Literatur herausgestellt. Die einzelnen Autoren mit ihren oft sehr unterschiedlichen Ansichten kamen zu Wort und am Schluß jeder Frage wurde eine heute allgemein gültige Antwort gegeben.

Die erste Frage, welcher Zeitpunkt der günstigste für die periphere Nervennaht ist, konnte SEDDON mit seiner frühen Sekundärnaht bei offenen Nervenverletzungen für sich entscheiden. Seine Argumentation ist überzeugend und eigene Untersuchungsreihen beweisen seine Aussage. Bei geschlossenen Verletzungen des Nerven empfiehlt NIGST die Frühexploration nach Ablauf der zu errechnenden Regenerationszeit.

Die nächsten Fragen sind insofern von geringerer Bedeutung, da sie Gegebenheiten darstellen, aus denen man zwar prognostische Schlüsse ziehen kann, die jedoch keine Möglichkeiten zur Verbesserung der Therapie in sich schließen. Ihre Antworten sind kurz folgende: a.) Je höher die Verletzungsstelle, desto ungünstiger ist das zu erwartende Ergebnis, da erstens die Regenerationszeit verlängert ist, sodaß durch irreversible atrophische Schäden nicht nur der Muskeln selbst, sondern auch der motorischen und sensiblen Endplatten die Reinnervation nicht mehr richtig zur Entfaltung kommen kann. Ein weiterer Grund liegt darin, daß der proximale Nervdurchmesser größer ist, sodaß das klinische Bild der Lähmung ausgedehnter ist und die Möglichkeiten falscher Faserverbindungen nach der Naht entsprechend größer sind. b.) Der N.radialis läßt von den drei Armnerven nach einer Nervennaht die günstigste Wiederherstellung erwarten. Der Grund liegt in seinen hohen Ramifikationen und in seinen vorwiegend motorischen Anteilen. Dadurch sind die Möglichkeiten falscher Faserverbindungen zwischen motorischen und sensiblen Anteilen geringer. c.) Das Alter des Patienten ist für die Nervenregeneration nur von geringer Bedeutung. Die Ansicht von SAKELLARIDES, daß bei Kindern bessere Ergebnisse zu erwarten seien, stimmt mit den Erfahrungen an unserer Klinik überein.

Sowohl für die Therapie, als auch für das Endergebnis ist die Frage entscheidend, welchen Einfluß die Schwere der Verletzung des Nerven selbst

und seiner Umgebung hat. Begleitverletzungen in Form von Frakturen und Sehnendurchtrennungen erfordern ein verschiedenes Vorgehen. Verletzungen größerer Gefäße wirken sich auf den ohnehin schon denervierten Muskel zusätzlich schädlich aus und begünstigen seine Atrophie. Die Ausdehnung der Verletzung des Nerven selbst ist von ganz besonderer Bedeutung. Je nach Länge des zu resezierenden Nervenanteiles muß erwogen werden, ob der Defekt durch Mobilisierung, Gelenkentlastung, Verlagerung des Nerven oder durch ein Transplantat überbrückt werden kann. Auf die Problematik der Nerventransplantate wurde in diesem Zusammenhang kurz eingegangen.

Die nächste Frage befaßt sich mit der Nachbehandlung nach Nervennähten und inwieweit sie für eine Verbesserung des Ergebnisses Bedeutung erlangt. Dabei konnte gezeigt werden, daß die Nachbehandlung den Sinn hat, die gelähmte Muskulatur vor Überdehnung zu schützen, Kontrakturen zu vermeiden und der Muskelatrophie vorzubeugen. Die verschiedenen Behandlungsmethoden wurden aufgezeigt und die entscheidende Bedeutung, die der Nachbehandlung auf diesem Gebiet zukommt, wurde unterstrichen.

Welche Operationstechnik verspricht die besten Ergebnisse ? So heißt die letzte Frage in diesem Kapitel. Sie ist von besonderer Bedeutung, denn von ihr hängt in entscheidender Weise das Schicksal jeder Nervennaht ab. Das heute allgemein gültige Vorgehen bei Nervennähten, wie es von NIGST aufgezeigt wird, wurde beschrieben. Danach wurde auf den wesentlichen Punkt der Nervennaht, nämlich auf die intraneurale Topographie hingewiesen. Alle Autoren, die dieses Problem diskutieren, scheinen zu glauben, daß ein befriedigendes äußeres Erscheinungsbild eine Garantie für eine exakte Apposition der Schnittflächen der Nervenenden darstellt. EDSHAGE hat 1964 erstmals durch seine hervorragenden Untersuchungen am Menschen gezeigt, daß bei den üblichen Resektionsmethoden die intraneurale Topographie ungenügend ist. Um den Endkontakt zu verbessern, entwickelte EDSHAGE einen Nervenhalter. Ferner konnte er auf Grund seiner Untersuchungen zeigen, daß rostfreier Stahldraht das geeignete Nervennahtmaterial darstellt.

In Kapitel B des speziellen Teiles wurde über eigene Untersuchungen an unserer Klinik berichtet. Zuerst wurden die Ergebnisse von 43 nachuntersuchten Fällen, von insgesamt 64 Nervennähten, die an unserer Klinik in der Zeit von 1956 bis 1964 durchgeführt wurden, in Tabellen aufgezeichnet

und erörtert. Dabei wurde gefunden, daß die Motorik in 75 % der Fälle, die Sensorik jedoch nur in 50 % der Fälle ein für den normalen Arbeitseinsatz der Hand brauchbares Resultat erreichte. Von den 27 in derselben Zeit durchgeführten Neurolysen und Nervenverlagerungen konnten 16 Patienten nachuntersucht werden. Die Ergebnisse wurden in gleicher Weise wie bei den Nervennähten ermittelt und aufgezeichnet. Beim Vergleich beider Durchschnittsresultate zeigte sich, daß bei den Neurolysen und Verlagerungen zwar die motorischen Erfolge denen bei Nervennähten ähnlich waren, daß aber die Sensibilität mit 86 % guten Resultaten wesentlich günstiger liegt als bei den Nervennähten. Es wurde allerdings darauf hingewiesen, daß die Ergebnisse nach Neurolysen keine statistische Beweiskraft besitzen, da ihr Erfolg weitgehend von dem Verhältnis der reversibel und irreversibel geschädigten Nervenanteile und damit von der exakten Indikationsstellung während der Operation abhängig ist.

Danach wurden unsere Ergebnisse mit denen der Literatur verglichen und es stellte sich heraus, daß sie diesen im Durchschnitt entsprechen.

Zum Schluß wurde noch von den jüngsten Versuchen an unserer Klinik gesprochen, die in dem Bestreben unternommen wurden, die bisherigen Ergebnisse durch neue Behandlungsmethoden zu verbessern. GELDMACHER entwickelte einen neuen Nervenhalter, der eine wesentliche Verbesserung der Schnittflächen bei der Resektion und damit eine genaue Adaptation der Nervenstümpfe ermöglicht. Ferner wenden wir die Umscheidung der Nahtstelle mit Millipore an, um die Einwucherung von Bindegewebe aus der Umgebung in die Anastomose zu vermeiden. Es konnte gezeigt werden, daß der operative Eingriff am peripheren Nerven erfolgreich und lohnend ist und daß eine weitere Verbesserung der Ergebnisse durch neue und verfeinerte Behandlungsmethoden absolut im Bereich des Möglichen liegt.

V. SCHRIFTTUM

1 Beltràn - de-Heredia-y-Onis, Josè M.:

Aspectos quirurgicos actuales sobre el problema de la regeneracion de los nervios perifericos.- Rev.espan.Oto-Neuro-Oftalm.8, (1949)

2 Berntsen, Aage:

Erfolge sekundärer Nervennähte u.Neurolyse.- Ugeskr.Laeg. 1942 (Dänisch)

3 Björkesten, G.af:

Suture of war injuries to peripheral nerves, Clinical studies of results. - Acta med. scand. (Helsingfors) Suppl.-Bd. 119 (1947)

4 Böhler, Jörg:

Nervennaht und homoioplastische Nerventransplantation mit Milliporeumscheidung. - Referat, gehalten am 28.4.1962 bei der Tagung der Dtsch.Ges.f.Chir. in München

5 Bourguignon, Georges:

Die Rolle der Elektrologie in der Diagnose und Behandlung der Nervenverletzungen, Erhaltenbleiben der Erregbarkeit der Nerven in 5 Fällen von Nervennähten, die weniger als in einer Stunde nach Verletzung ausgeführt wurden. - Soc. de Neurol., Paris (11.4.1940)

6 Cajal, R.:

Degeneration and regeneration of the nervous system. Oxford Univ. Press, London 1928

7 Deery, Edwin M.:

Injurie to the peripheral nerves. - Surg. Clin. N.Amer.21 (1941)

8 Delank, HW. u. M. Nikolei u. D. Tönnis:

Zur Behandlung peripherer Nervenverletzungen.- Med. Welt 1960, 1249

9 Dumas, Renè:

Blessures des nerfs. Resultats è loignès du traitement chirurgical et indikations opératiores. - Presse mèd. 1940,I

10 Edshage Svante

Peripheràl nerve suture
Universität Göteborg 1964

11 Ehalt, W.:

Behandlungsergebnisse von Verletzungen peripherer Nerven. Ber. v. 8. internat. Kongr.f. Unfallmed. u. Berufskrankh. Frankfurt a.M., 26. - 30.IX.1938, Georg-Thieme-Verlag Lepzig 1939

12 Falcone, R.:

A proposite della sutura tardiva dei nervi. (Ber.v.8.inter=nat. Kongr. f. Unfallmed. u. Berufskrankh. 2,1939)- Zbl. f. Chir.u.Gr. 95 (1940)

13 Fichera, G.:

Rigenarazione di fibre nervose e vitamina B_1 - Boll.Soc.med.-chir. Catania 7 (1939)

14 Fiedler H.:

Über Ergebnisse der Behandlung von peripheren Nervenver=letzungen - Zbl. f. Chir. u.Gr. 75 (1950)

15 Fontaine, Renè:

Les indications thèrapeutiques dans les plaies des nerfs rècenteset anicennes. - Bull.med. 1940, 1929 - 136

16 Geldmacher, Jürgen:

Der Ninhydrintest. - Eine objektive Untersuchungsmethode zum Nachweis von Sensibilitätsstörungen im Bereich von Hand und Fingern nach peripheren Nervenverletzungen.- Chir.prax.6, 1962, 317-320. E.u.H.Marscille Vlg.München

17 Goldner, J.Leonhard u. James M.Kelley:

Radial nerve injuries. - South.Med.J.51 (1958)

18 Grantham, Everett G. and Claude Pollard jr.:

Peripheral nerve surgers. Results of 281 cases followed six to 28 monthy.-Ann.Surg. 134 (1951)

19 Graupner, Werner:

Über die Verwendung des Cellophans bei der Nervennaht - Zbl.f.Chir. u. Gr. 100 (1940)

20 Guinsbourg, P.L.:

Verletzungen der peripheren Nerven der oberen Extremität. (Russ.) Orthop.i.Travmat. Nr. 3, 1938

21 Gund, A.:

Bericht über 146 Eingriffe an kriegsverletzten peripheren Nerven. - Praxis (Bern) 1949, 774-782

22 Hanke, Hans:

Anzeigestellung und Erfolge der chirurg. Behandlung von Verletzungen peripherer Nerven. - Münch.med.Wschr.1938, I 328

23 Hawkins, George L.:

Faulty sensory localization in nerve regeneration. An index of funktional recovery following suture. J.of Neuro surg.5 (1948)

24 Jäger, F.:

Die Chirurgie der peripheren Nerven. - Münch.med.Wschr. 1941 I. 256

25 Kingma, M.J. and D. Zuithoff:

War-injuries of peripheral nerves > Fol.psychiatr.nè erl. 55 (1952

26 Koschitz-Kosic, Hermann:

Chirurgie u.Regeneration durchtrennter peripherer Nerven Tierexperimentelle Untersuchung - Bln., Vlg.Volk u. Gesundh.1960

27 Kosic, H.:

Über die Schiff' sche Per-primam-Heilung durchtrennter peripherer Nerven. - 77. Tagg. Dtsch.Ges.f.Chir., Münch. 20.-23-IV.60

28 Kraus, Herbert:

Behandlung und Nachbehandlung von Verletzungen peripherer Nerven.- Ther.Gegenw.82 (1941)

29 Larsen, Robert D. and Joseph L.Posch:

Nerve injuries in the upper extremity - A.M.A. Arch. Surg.77 (1958)

30 Leriche, Renè:

Des causes d'echec des sutures nerveuses; Moyens d'y pallier.- Presse med. 1940 I. 345

31 Lullies, H.:

"Animalische Physiologie II", Tropon-Schriftreihe, Kiel 1959

32 Matson, Donald D. and Eben Alexander, Paul Weiss:

Experimente on the gridging of gaps in severed peripheral nerves of monkeys. - J. of Neurosurg, 5 (1948)

33 May, Hans:

Chirurgie der offenen Sehnen= und Nervenverletzungen der Hand, einschließlich Anwendung der freien Sehnentransplantationen.- Dtsch.Zschr.Chir.277 (1954)

34 Nigst, Henry:

Die Chirurgie der peripheren Nerven.-Thieme-Vlg.Stuttgart 1955

35 Nigst, Henry:

Die chirurg. Behandlung von Lähmungen nach Verletzungen peripherer Nerven. - (Vortrag im Rahmen des 3. Tageskurses "Neurologie des prakt. Arztes") Bern 19.11.59

36 Oberna, F. und P. Mȏritz:

Erfolgreicher Ersatz eines Verletzungsdefektes des Nervus rad. durch Nerventransplantation. - Mschr. Unfallheilk.64 (1961)

37 Ostroverchow, G.E.:

Spätergebnisse der Operation an den peripheren Nerven.- Vvpr. Nejrochir. 15, H 2 (1951)

38 Pecinka, H.:

Plexusverletzungen. - Klin.Med. (Wien) 16 (1961)

39 Recht, P.:

Frische Nervenverletzungen an der Hand. - Langenbecks Arch. u.Dtsch. Zbl.f.Chir. 287 (1957)

40 Rein/Schneider:

Einführung in die Physiologie des Menschen. Springer-Verlag 1955

41 Riechert, Traugott:

Grundlagen der neurochirurg. Behandlung der Nervenverletzungen. Nervenarzt 15 (1942)

42 Sakellarides, Harilaos:

A follow-up study of 172 peripheral nerve injuries in the upper extremity in civilians. - J. Bone Jt Surg. 44-A (1962)

43 Schaaf, F.:

Tubulisation von Nervennähten. Langenbeck-Archiv, Klin,Chir, 301, 905-909 (1962)

44 Schönbauer, L.:

Behandlung u. Nachbehandlung von Nervenverletzungen. Wien. klin.Waschr. 1943 I

45 Seddon, H.J.:

Thre types of nerve injuries. Brain, Vol.66 (1943)

46 SEDDON, H.J.:

War injuries of peripheral nerves. - Brit.J.Surg.Suppl.- Bd. 2 (1949)

47 SEDDON, H.J.:

Peripheral Nerve injuries. - Medical Research Council, Spezial Report Series N. 282, London 1954

48 Sejner, Z.F.:

Spätergebnisse der chirurg.Therapie bei Schußverletzungen der pheripheren Nerven in späteren Perioden. - Vopr.Nejrochir. 18, H 5 (1954) (Russ.)

49 Shaffer, James M. and Frank Cleveland:

Delayed suture of sensory nerves of the hand. - Ann.Surg.131 (1950)

50 Stieve, Robert:

Transplantationen an peripheren Nerven (1.Sitzungsber.d.71. Tagung d.Dtsch.Ges.f.Chir.v.21.-24.4.54) Langenbecks Arch. 279 (1954)

51 Stromberg jr.W.B., Robert M.Mac Farlane, John L.Bell, Summer L.Koch, Michael L.Mason:

Injury of the median and ulnar nerves. J.Bone Jt Surg. 43-A (1961)

52 Sunderland, Sydney:

Rate of regeneration of motor fibers in the ulnar and sciatic Nerves, Rate of regen. of sensory nerve fibers.- Arch. of Neurol. 58 (1947)

53 Sunderland, Sydney:

Observations on the course of recovery and late and results in a series of cases of peripheral nerve suture.- Austral. a.N. Zeald.J.Surg. 18 (1940)

54 Tönnis, W. u. Götze, W.:

Zur operativen Behandlung der Schußverletzungen der peri= pheren Nerven u. ihre Erfolgsaussichten. - Dtsch.Mil.-Arzt 7 (1942)

55 Voss, H.:

Grundriß der norm. Histologie u. mikriskop. Anatomie.- Thieme-Vlg. Leipzig (1959)

56 Woodhall, Barmes:

Modern history of peripheral nerve surgery. World War II and the postwar study of peripheral nerve regeneration. - J. Amer.med.Assoc. 139 (1949)

57 Zeumer, G.:

Zur Versorgung multipler Sehnen= und Nervenverletzungen an der Hand. - Zentralbl. f. Chir. 86, 4 (1961)

LEBENSLAUF

Ich wurde als drittes Kind des Architekten Hermann Lang und seiner Ehefrau Gertrud geb. Krammer am 29. September 1938 in München geboren. 1942 übersiedelten wir nach Weißenburg/Bay., wo ich alle meine Schuljahre verbrachte, die ich 1959 mit dem Reifezeugnis des Humanistischen Gymnasiums beendete. Nach zwei Semestern Architekturstudium an der Technischen Hochschule in München wechselte ich auf das Studium der Zahnheilkunde über. Nach 5 vorklinischen Semestern in München legte ich dort das Physikum ab. Das erste klinische Semester studierte ich noch in München und kam dann an die Universität Erlangen - Nürnberg, wo ich nach Abschluß des fünften klinischen Semesters das Staatsexamen ablegte. Am 1. März 1966 erhielt ich die Appro= bation als Zahnarzt.

Offset+Fotodruck
- W. Hogl, Erlangen, Brüxer Straße 9, (Nähe Röthelheimbad) Telefon 15336 -

Offset - Fotodruck
- J. Hogl, Erlangen, Brüxer Straße 9, (Nähe Röthelheimbad) Telefon 15336 -